



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH SNÍŽENÍ POČTU SVARŮ U RÁMOVÝCH DVEŘÍ  
KOLEJOVÝCH VOZIDEL Z AL SLITIN**

PROPOSAL OF WELDS NUMBER REDUCTION ON ALUMINIUM ALOYS FRAME DOORS FOR RAIL  
VEHICLES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jan Šplíchal**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jan Šplíchal**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh snížení počtu svarů u rámových dveří kolejových vozidel z Al slitin

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o celkový výpočet pevnosti svarů na rámu dveří a návrh snížení počtu, délek svarů za zachování stejných pevnostních charakteristik. Následně svařit typizovaný hliníkový rám dveří vybraného projektu a ten otestovat dle norem a interních předpisů.

### Cíle diplomové práce:

1. Vybrat vhodný projekt a provést pevnostní výpočet rámových dveří pro kolejová vozidla.
2. Navrhnout snížení počtu svaru a délek při zachování stejné tuhosti.
3. Svařit typový rám dle návrhu a otestovat.
4. Porovnat a vyhodnotit stávající a nový navržený postup snížení počtu svarů.
5. Ekonomické a časové srovnání obou postupů.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1. vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

MAJER, Lubomír. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-70-5.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

ŠPLÍCHAL Jan: Návrh snížení počtu svarů u rámových dveří kolejových vozidel z Al slitin.

Diplomová práce předkládá možné návrhy snížení počtu svarů u rámových dveří kolejových vozidel svařovaných z profilů z hliníkové slitiny EN AW 6060, která je tepelně zpracována dle stavu T66. Profily jsou svařovány metodou TIG s využitím přídatného materiálu S Al 5087 (AlMg4,5MnZr). Tepelné ovlivnění svařovacím cyklem vyvolává v základním materiálu změnu struktury a pokles mechanických vlastností z důvodu rozpuštění precipitátů. Pro zjištění potřebných mechanických vlastností materiálu po svaření, byla provedena zkouška tahem na dodaných vzorcích. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky byly následně použity jako hraniční hodnoty při novém návrhu dveřního rámu pomocí simulace MKP v softwaru Virtual Performance Solution s využitím nástavby PAM – Crash. Nově navrhnutý rám byl svařen dle potřebných specifikací postupů svařování, které jsou taktéž součástí práce. Závěr je věnován ekonomickému zhodnocení aktuálního a nového návrhu dveřního rámu.

Klíčová slova: EN AW 6060 T66, S Al 5087, TIG, MKP, svařování

## **ABSTRACT**

ŠPLÍCHAL Jan: Proposal of welds number reduction on aluminium alloys frame doors for rail vehicles.

This Diploma thesis presents possible proposals of welds number reduction frame doors for rail vehicles welded from profiles from aluminium alloy EN AW 6060, which is heat treated by temper T66. Profiles are welded by TIG process with additional material S Al 5087 (AlMg4,5MnZr). The heat treatment by the welding cycle causes a change in structure of basic material and decrease of mechanical properties due to dissolution of precipitates. To measure the necessary mechanical properties of the material after welding a tensile test was performed on the delivered samples. The resulting values from tensile test were subsequently used as cut – off values in the new door frame design by FEM simulation in Virtual Performance Solution software with PAM – Crash extension. The newly designed frame was welded according to the necessary welding procedure specifications, which are also part of the thesis. The conclusion is devoted to the economic evaluation of the current and new design of the door frame.

Keywords: EN AW 6060 T66, S Al 5087, TIG, FEM, welding

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠPLÍCHAL, Jan. *Návrh snížení počtu svarů u rámových dveří kolejových vozidel z Al slitin* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116366>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marián Sigmund.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 23.5.2019

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce, panu Ing. Vratislavu Chaloupkovi z firmy IFE za ochotu a vysvětlení problematiky spojené s řešením této práce. Dále moje poděkování patří Ing. Miroslavu Machátovi za osvojení problematiky spojené se simulací MKP v softwaru Virtual Performance Solution, Ing. Josefu Štanclovi a Karlu Jánskému ze střední školy zahradnické a technické Litomyšl za umožnění a pomoc při frézování vzorků pro tahovou zkoušku, Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za provedení tahové zkoušky a firmě IFE za poskytnuté informace a materiály. V neposlední řadě chci poděkovat svojí rodině a přítelkyni za podporu během studia.

# OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

	Str.
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADANÍ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Varianty změny výroby .....	24
1.1.1. Metody svařování a lepení .....	24
1.1.2. Úprava výkresové dokumentace .....	28
<b>2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET RÁMU DVEŘÍ NA ZÁKLADĚ SIMULACE MKP ....</b>	<b>29</b>
2.1 Jednotlivé návrhy .....	36
2.1.1. Výsledky vypočtených variant .....	37
<b>3 SVAŘENÍ DVEŘNÍHO RÁMU METODOU TIG.....</b>	<b>45</b>
3.1 Svařování metodou TIG .....	45
3.1.1. Elektrický oblouk, polarita a způsoby jeho zapálení .....	46
3.1.2. Svařovací zdroje a statická charakteristika .....	47
3.1.3. Svařovací hořák, jeho složení a chlazení .....	49
3.1.4. Ochranný plyn, tlakové zásobníky a jeho vedení .....	51
3.1.5. Wolframové elektrody .....	54
3.2 Svařovací protokoly nutné pro svaření dveřního rámu.....	56
3.3 Svaření stávající a nově navržené varianty dveřního rámu.....	57
3.4 Otestování nově navrženého dveřního rámu a svařovací postup .....	60
<b>4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>62</b>
<b>5 ZÁVĚRY.....</b>	<b>66</b>

Seznam použitých zdrojů  
Seznam použitých symbolů a zkratk  
Seznam obrázků  
Seznam tabulek



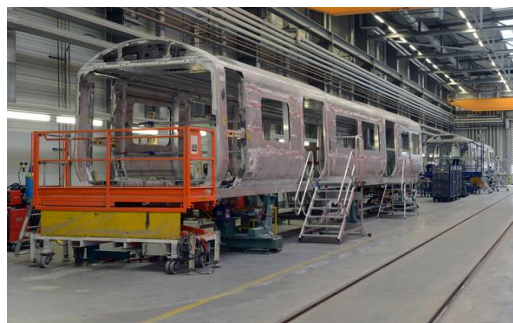
## ÚVOD [1; 2; 3; 4; 5]

V dnešní technologicky vyspělé době je nutné držet krok se stále se dynamicky rozvíjejícími požadavky společnosti. Rychlost je jedním z hlavních faktorů, který je vyžadován z důvodu neustávající globalizace. Skvělým příkladem je výroba jakékoliv součásti. Celý výrobní proces musí být optimalizován již od samotného zrodu. Od rychlosti a formy sdělování informací v celém průběhu vývoje a výroby, po dopravení hotové součásti ke spotřebiteli. Ať už se jedná o přenos pouhých digitálních či analogových vln nebo přímo přepravu fyzických osob, kde důraz na rychlou a především bezpečnou dopravu je prioritní záležitostí. Zanedbat se také nesmí emisní dopad přepravy a s ním spojující se emisní normy a limity, které je nutné dodržet. Při přímém srovnání základních typů dopravy, mezi které se řadí doprava silniční, železniční a letecká s důrazem na rychlost a vliv na životní prostředí, vyhrává doprava železniční. Především ve velkých městech se využívá k hromadné dopravě osob a jsou to právě dveře, které tvoří první a zároveň poslední fyzický kontakt přepravované osoby s železničním vozidlem. Z tohoto důvodu je nutné udržet kvalitu dveřního systému na vysoké úrovni.

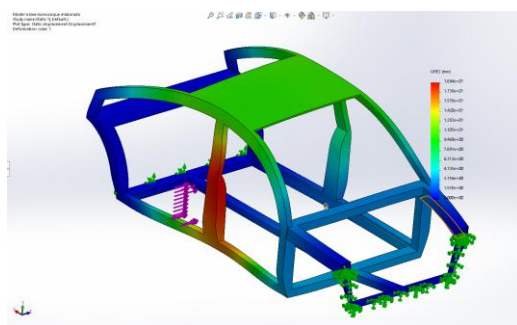
Možností ke zlepšení kvality a zároveň urychlení výrobního procesu dveřních systémů (obráz. 1) pro kolejová vozidla je několik. Základním prvkem je vstupní materiál. Je nutné, aby splňoval požadavky na dostatečnou pevnost s kombinací malé hustoty při minimalizaci pořizovací ceny. Tyto vlastnosti vedou k zajištění bezpečnosti a díky nižší hmotnosti i ke snížení emisí. Vhodným materiálem jsou slitiny hliníku, které se využívají k výrobě nejen dveří ale i celého skeletu (obráz. 2). Samotná konstrukce je dalším velmi významným elementem. Díky novým simulačním programům (obráz. 3) lze ještě před samotnou výrobou odhalit předimenzované respektive poddimenzované části konstrukce a následně je upravit. Tento krok usnadňuje návrhový čas a výslednou cenu výrobku. V neposlední řadě také využitím progresivních technologií a vhodnou volbou technologického procesu, který například při svařovacím procesu (obráz. 4) dokáže značně ovlivnit výslednou deformaci a vznik vnitřního napětí v materiálu.



Obr. 1 Dveřní systém [2]



Obr. 2 Skelet vlaku [3]



Obr. 3 Simulační program [4]

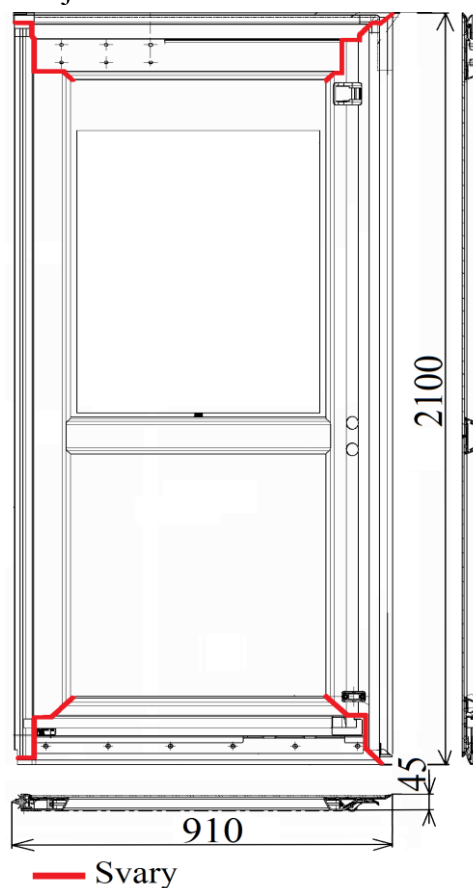


Obr. 4 Svařovací proces [5]

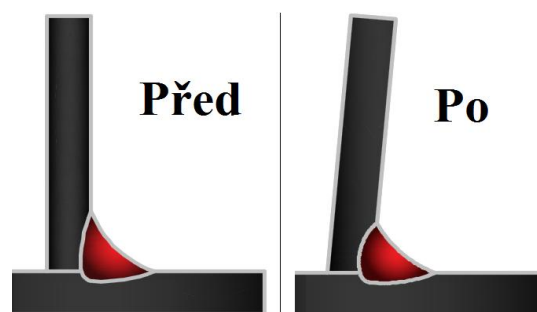
## 1 ROZBOR ZADANÍ [6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47]

Během výroby dveřních systému pro kolejová vozidla je velmi důležité vhodně zvolit základovou konstrukci. Z důvodu velké členitosti a specifických požadavků jí nelze, anebo s velkými obtížemi a finanční náročností, vyrobit jinou metodou než pomocí svařování. Vstupní materiál tvoří hutní polotovary, které musí splňovat potřeby jak z hlediska konstrukčního (pevnost, tuhost), technologického (tvárnost, svařitelnost), ale i ekonomického. Při svařování je nutné udržet množství vneseného tepla do svařence na co možná nejnížší úrovni, neboť tak zabezpečíme vznik menšího vnitřního pnutí a deformací. Zároveň se tak minimalizuje nebo úplně eliminuje nutnost následného rovnání svařence či jeho tepelného zpracování. Vliv ohřátí a následného ochlazení na deformaci svařované součásti před a po svařovacím cyklu zachycuje obrázek 6. Cest vedoucích ke snížení vneseného tepla a zkrácení výrobního procesu je několik, od změny svařovací metody, přes úpravu technologického postupu až po zkrácení nebo úplně vynechání svarů na některých místech. Poslední krok ovšem může ovlivnit výslednou tuhost dveřního rámu (obr. 5, příloha 1). Tímto problémem se zabývá firma IFE - CR nacházející se v Modřicích.

Historie společnosti IFE (Innovationen Für Einstiegssysteme) sahá až do roku 1947, kdy byla ve Vídni založena firma, která se specializovala na vývoj a výrobu speciálních zařízení pro rakouské průmyslové společnosti. Postupem času docházelo k celkovému rozvoji a otevření nových poboček po celém světě. K jedné z nich se řadí i firma IFE – CR (obr. 7) sídlící v průmyslové zóně CTPark Brno spadající mezi světové jedničky ve vývoji a výrobě automatických dveřních systémů pro kolejová vozidla. Založení je datováno k roku 1996, kdy byla vybudována ze základů společnosti Hády – Metall zabývající se výrobou oken a dveří pro vlaky. V následujících letech docházelo k modernizaci a rozšiřování výrobního závodu v důsledku rostoucí prodeje. V současné době patří mezi hlavní výrobce dveřních křídel pro celou Evropu. Zaměstnává na 860 zaměstnanců, kteří ročně vyrobí 27 tisíc dveří, 19 tisíc pohonů a 3,2 tisíce schodů. Obrat společnosti v roce 2017 dosáhl hodnoty 3,4 miliardy Kč.



Obr. 5 Dveřní rám [6]

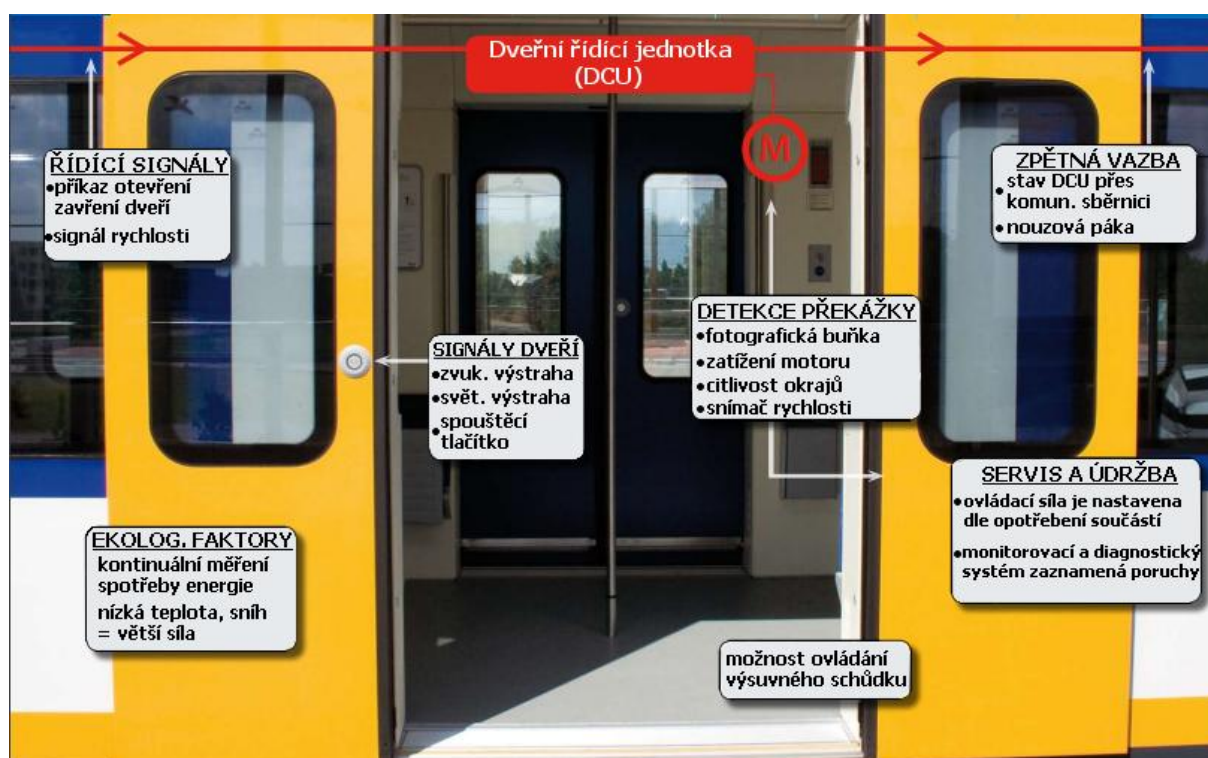


Obr. 6 Deformace součásti před / po svařovacím cyklu [8]



Obr. 7 IFE CR [9]

Dvevní systém se skládá ze tří základních prvků, mezi které patří: dveře, otevírací mechanismus a řídicí jednotka. Řídicí jednotka je mozkem dvevního systému, jenž řídí a monitoruje dveře, aby byla zajištěna správná funkce při zajištění maximální bezpečnosti. Toto je zabezpečeno velkým množstvím čidel a senzorů, které průběžně kontrolují oblast dveří. Jmenovitě lze vybrat snímače otevření či zavření dveří, bezpečností relé v ovladači motoru, signální značení at' už akustické či vizuální, fotografické buňky se zpětnou vazbou zablokování dveří, citlivé hrany s detekcí drcení či tažení a spoustu dalšího. Velmi užitečnou je i tzv. umělá paměť opotřebení, která na základě opotřebení dveří po určité době sama reaguje na změnu množství potřebné energie či rychlost otevírání dveří. Tyto aspekty jsou kompenzovány, aby nedocházelo ke zbytečným chybovým hláškám a snížil se počet nutných údržeb. Obrázek 8 popisuje nejdůležitější prvky a funkce moderních dvevních systémů.



Obr. 8 Prvky a funkce moderních dvevních systémů [10]

Na skelet vlaku a jeho vagóny je kladen důraz na široké spektrum vlastností, které musí být splněny. Při samotné výrobě jde o tvárnost či svařitelnost, následně o dostatečnou pevnost, nízkou hmotnost, korozní odolnost a v neposlední řadě i recyklovatelnost. Základní vlastnosti a jejich dopad na provoz vlakových souprav, at' už nákladních či osobních shrnuje tabulka 1. Těmito schopnostmi musí vynikat nejen samotný skelet, ale i dveře. Vhodným materiálovým adeptem splňující tyto vlastnosti jsou slitiny hliníku.

Tab. 1 Základní vlastnosti a jejich dopad na provoz vlakových souprav [11]

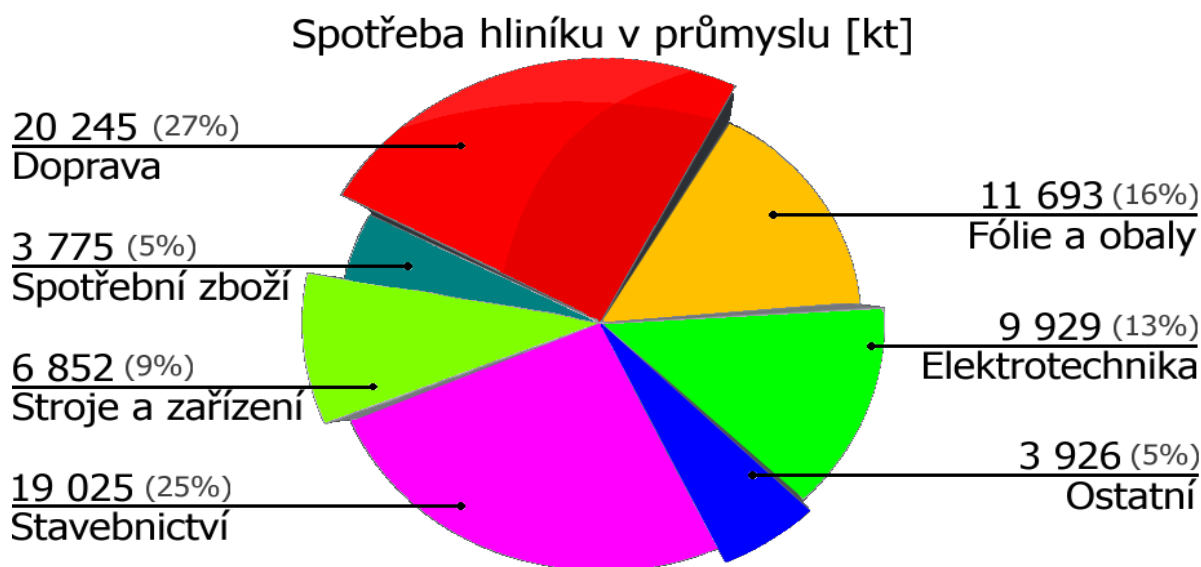
Nákladní doprava		Osobní doprava	
Vlastnost	Dopad	Vlastnost	Dopad
Nízká hmotnost	· zvýšení užitečného zatížení	Nízká hmotnost	· úspora energie
	· vyšší vstupní cena splacena do dvou let		· lepší akcelerace
Odolnost	· nižší údržba	Tuhá konstrukce	· vyšší bezpečnost cestujících
Korozní odol.	· snížení nebo eliminace lakování		
Technologické schopnosti	· neotřelý design	Korozní odol.	· nižší nutnost údržby
	· snížení počtu použitých komponent		· delší servisní životnost
	· snížení počtu svarů		· snížení nebo eliminace lakování
Recyklovatelnost	· vysoká šrotovná hodnota	Recyklovatelnost	· vysoká šrotovná hodnota



Rámová konstrukce a velké množství dalších dílů dveřního systému je vyrobeno ze slitin hliníku. Hliník je třetím nejrozšířenějším prvkem a prvním nejrozšířenějším kovem v zemské kůře. I přes tento aspekt začala jeho průmyslová výroba až roku 1859. Zpočátku se používal pouze ve šperkařském průmyslu a to z důvodu velmi vysoké ceny. Postupem času se zvyšující se výrobou hliníku a jeho klesající cenou znatelně rostlo jeho použití, kdy hlavní „boom“ zažilo po 2. světové válce. V dnešní době je jen těžko nahraditelným kovem. K jeho nejdůležitějším vlastnostem patří nízká hustota  $2\,700\text{ kg/m}^3$ . Ve srovnání s ocelí se tedy jedná o pouhou třetinu její hustoty. Dále velmi dobrá elektrická a tepelná vodivost a tvárnost při zachování dostatečné pevnosti. Díky schopnosti povrchové pasivace a tvorby tenké vrstvičky oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dosahuje vysoké odolnosti vůči korozi. Základní vlastnosti čistého hliníku ať už fyzikální, chemické či mechanické jsou zapsány v tabulce 2. Díky těmto vlastnostem je hliník využívaný v širokém spektru jednotlivých odvětví průmyslu. Obrázek 9 zobrazuje nejdůležitější spotřebitele hliníku za rok 2014 a je z něj jasné patrné, že nejvíce je hliník využíván v dopravě a stavebnictví.

Tab. 2 Základní vlastnosti hliníku [15]

Protonové číslo	Krystalová mřížka	Bod tání [°C]	Bod varu [°C]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Modul pružn. [GPa]	Poissonova konstanta
13	FCC	660,2	2480	2,6898	68,3	0,34



Obr. 9 Spotřeba hliníku v průmyslu v kt [16]

Čistý hliník (technický hliník) je ovšem díky svým vlastnostem použitelný pouze v úzkém rozsahu. Využívá se především v elektrotechnickém a chemickém průmyslu. Dále pak v energetice, architektuře a obalové technice. Pro konstrukční účely jsou však vlastnosti čistého hliníku nevyhovující. Proto se vyrábí slitiny hliníku, které díky přísadovým prvkům zvyšují mechanické a zlepšují technologické vlastnosti. Slitiny obsahují: základní prvek, hlavní přísadový prvek, vedlejší přísadové prvky a doprovodné prvky.

Základní prvek určuje druh slitiny, v našem případě je tedy základním prvkem hliník. Hlavní přísadové prvky jsou prvky, které mají primární vliv na vlastnosti slitiny. Zpravidla je jejich obsah druhý nejvyšší a to po prvku základním. Nejčastěji se používá křemík, měď a hořčík a výjimečně zinek či mangan. Dle hlavních přísadových prvků vznikají slitiny hliníku s typickými názvy: Al – Si = siluminy, Al – Cu = duralaluminium, Al – Mg = hydronalium. Také se podle hlavního přísadového (legujícího) prvku slitiny hliníku dělí do základních devíti sérií. Jedná se o rozdělení podle normy EN 573-1 – viz tabulka 3.

Tab. 3 Rozdělení slitin hliníku podle normy EN 573-1 [13]

Hlavní legující	Hliník 99,00 %	Měď	Mangan	Křemík	Hořčík	Hořčík a křemík	Zinek	Jiné prvky	Nepoužitá skupina
Označení série	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000

Vedlejší přísadové prvky jsou chem. elementy, které pozitivně ovlivňují vlastnosti slitiny. Jedná se především o zvýšení mechanických vlastností, zlepšení obrobitelnosti, ovlivnění struktury kovu a tepelného zpracování či odškodnění nepříznivého účinku některých doprovodných prvků. Slitina může obsahovat současně několik vedlejších prvků, avšak celkový obsah těchto prvků je nižší, než obsah hlavního přísadového prvku. Prvek, jenž ovlivňuje slitiny určitého typu nejvíce, dělí slitiny do skupin. U siluminů se může jednat o Al-Si-Cu, Al-Si-Mg a další.

Za doprovodné prvky se označují prvky, které nebyly do slitiny doplněny úmyslně. Z důvodu zhoršujících mechanických, chemických nebo technologických vlastností slitiny při překročení určité koncentrace jsou považovány za nečistoty. Negativně ovlivňují vlastnosti základního kovu, v němž jsou rozpuštěny, či tvoří vlastní fáze, které opět nemají kladný vliv na vlastnosti slitiny. Obsah těchto nečistot je tedy limitován na maximální přípustnou mez. Zdrojem nečistot jsou především vsázkové suroviny nebo přetavovaný šrot.

Konstrukce dveří je tvořena profily, které jsou následně svařeny dle výkresové dokumentace. Pro snížení množství nutných svarových spojů a vnesení tepla se využívá profilů, které jsou z hlediska průřezu tvarově složité. Je tedy kladen velký důraz na tvařitelnost a svařitelnost výchozího materiálu. Dále je vyžadována korozní odolnost, nízká hustota, nízká pořizovací cena a vysoká pevnost. Tyto vlastnosti splňuje hliníková slitina ze skupiny 6xxx respektive EN AW 6060. Hlavními legujícími prvky je Mg a Si, ale dále obsahuje vedlejší přísadové prvky, které ovlivňují její vlastnosti. Obecný vliv legujících prvků ve slitinách typu AlMgSi popisuje tabulka 4. Chemické složení (tab. 5) slitiny EN AW 6060 lze dohledat v normě EN 573-3. Mechanické a fyzikální vlastnosti vztažené na pokojovou teplotu 20 °C jsou v tabulce 6. Mechanické vlastnosti jsou brány z normy DIN EN ISO 6892-1, která získává výsledné hodnoty pomocí zkoušky tahem za pokojové teploty. V příloze 2 je materiálový list slitiny EN AW 6060.

Tab. 4 Vliv legujících prvků ve slitině AlMgSi [17]

Prvek	Vliv
Mg	Zvyšuje pevnost a tvrdost. Dobrá korozní odolnost a zvýšená svařitelnost.
Si	Umožňuje tepelně zpracovat v kombinaci s Mg. Korozí odolný.
Mn	Zjemňuje zrna a zabráňuje rekrystalizaci. Zvyšuje mez kluzu a pevnosti. Korozí odolný.
Zn	Zvyšuje pevnost a tvrdost. Umožňuje tepelně zpracovat v kombinaci s Mg.
Fe	Nečistota.
Cr	Zjemňuje zrna a zabráňuje rekrystalizaci. Zvyšuje mez kluzu a pevnosti. Korozí odolný.
Cu	Zvyšuje pevnost a tvrdost. Snižuje korozní odolnost.

Tab. 5 Chemické složení slitiny EN AW 6060 [18; 19]

EN AW 6060	Chemické složení [%]									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Min.	0,30	0,10	-	-	0,35	-	-	-	-	Zbytek
Max.	0,6	0,30	0,10	0,10	0,6	0,05	-	0,15	0,10	Zbytek
*	0,42	0,19	<0,01	0,05	0,42	<0,01	-	<0,01	0,01	Zbytek

\* přesné chemické složení materiálu na základě certifikátu od dodatele pro danou tavbu (viz příloha 3)

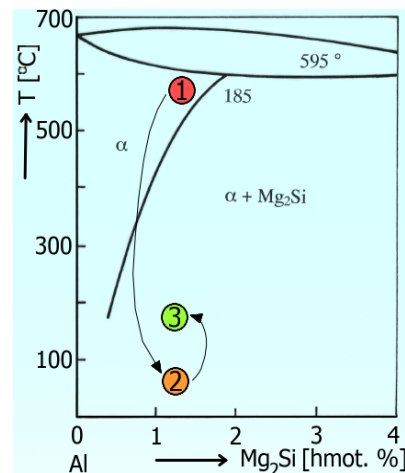
Tab. 6 Fyzikální a mechanické vlastnosti za teploty 20 °C [20]; [21]

Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplotní rozsoh tání [°C]	Měrná el. vodivost [MS/m]	Tepelná vodivost [W/m°C]	Tepelná roztažnost [10 <sup>-6</sup> /°C]	Modul pružnosti v tahu E [GPa]	Modul pružnosti ve smyku G [GPa]
2,7	585-650	34-38	200-220	23,4	69,5	26,1

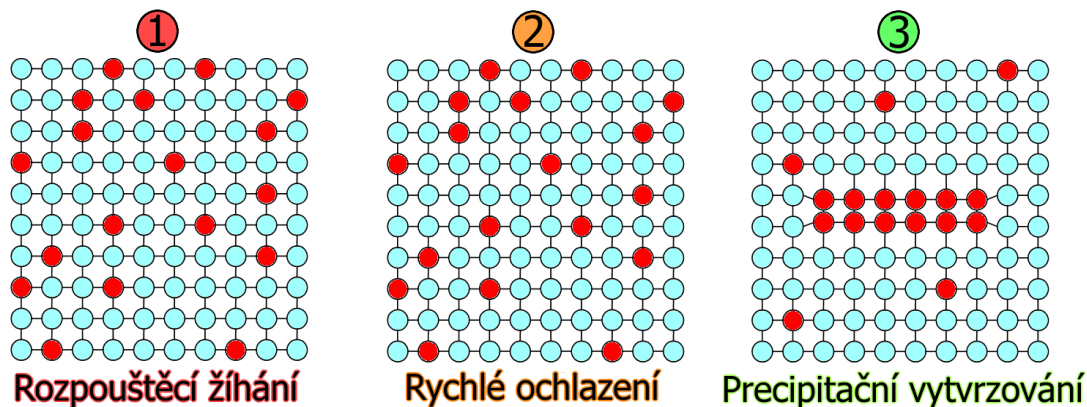
Zlepšení mechanických vlastností slitin hliníku lze ovlivnit nejen legujícími prvky, ale také pomocí tepelného zpracování, které je definováno dle normy ČSN 42 0056 (Tepelné zpracování neželezných kovů a jejich slitin. Rozdělení, názvosloví a definice). Lze definovat jako proces, při kterém jsou výrobek nebo jeho část v tuhém stavu podrobeny jednomu či více žhacím cyklům za cílem dosažení požadované struktury/substruktury a vlastností. Slitina EN AW 6060 se řadí mezi slitiny vytvrditelné, tedy je schopna zvýšit své mechanické vlastnosti a tvrdost tepelným zpracováním. Tomuto tepelnému zpracování se říká vytvrzování nebo také precipitační zpevnění a skládá se ze tří úkonů: rozpouštěcího žhání, rychlého ochlazení (kalení) a stárnutí. Základním předpokladem pro vytvrzení slitiny je, aby se mez rozpustnosti legujícího prvku/ prvků v tuhém roztoku snižovala s klesající teplotou (obr. 10).

Rozpouštěcí žhání je ohřev materiálu do oblasti homogenního tuhého roztoku (výskyt jedné fáze v rovnovážném diagramu) a výdrže na této teplotě po dobu nutnou k rozpuštění jedné nebo více intermetalických fází do tuhého roztoku. Rozpouštěcí teplota musí být dodržena v rozmezí  $\pm 5$  °C, neboť interval mezi teplotou čáry změny rozpustnosti a teplotou solidu je velmi malý. Horní hranice teploty bývá 10 °C pod teplotou solidu slitiny. Pokud by teplota solidu byla překročena, dojde k natavení hranic zrn s následným hrubnutím zrna, což vede ke znehodnocení slitiny. Naopak při nedostatečné teplotě nedojde k dokonalému rozpuštění precipitátů a zlepšení mechanických vlastností se nedostaví. Výdrž na teplotě musí být dostatečná, aby došlo k úplnému rozpuštění precipitátu, ale na druhou stranu co nejkratší, aby nedošlo k hrubnutí zrna.

Dalším krokem je ochlazení z teploty rozpouštěcího žhání. Cílem je, aby rozpuštěné intermetalické fáze zůstaly v roztoku až do dosažení pokojové teploty. Toho je dosaženo rychlým ochlazením kritickou nebo nadkritickou rychlostí do oblasti výskytu dvou fází. Tímto se dosáhne přesyceného metastabilního tuhého roztoku. Kalicím médiem bývá zpravidla voda o teplotě 20 °C. Zpoždění mezi vyndáním z pece a vložení do kalicího media musí být co nejkratší.

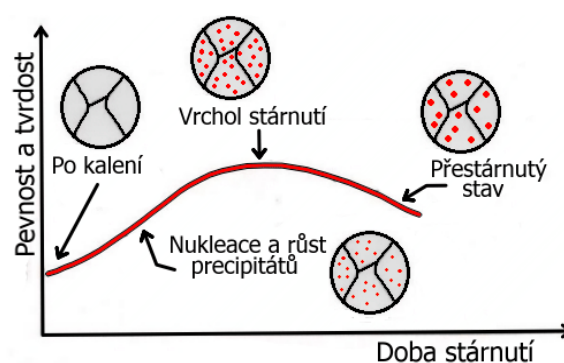


Obr. 10 Fázový diagram systému Al-Mg<sub>2</sub>Si [13]; [36]



Obr. 11 Změny v mřížce během tepelného zpracování [37]

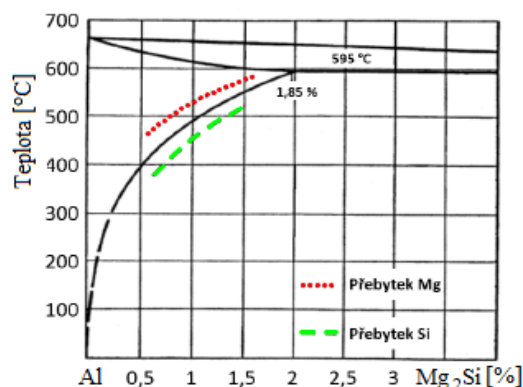
Stárnutí je posledním krokem, ve kterém dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku. K rozpadu tohoto roztoku může docházet za pokojové teploty – přirozené stárnutí, anebo za teploty zvýšené (140 - 180 °C) – umělé stárnutí. Na výsledné zpevnění struktury má vliv rozhraní mezi vznikajícími precipitáty a mřížkou tuhého roztoku. Prvotně dochází k difuzi přísadových prvků a nukleaci fází. Růst těchto precipitátů vede ke vzniku tzv. GP zón (Guinier – Prestonovy zóny). První zpevnění je důsledkem vzniku GP1 a GP2,



Obr. 12 Vliv doby stárnutí na pevnost a tvrdost materiálu [36]

kteří tvoří s tuhým roztokem  $\alpha$  (Al) koherentní rozhraní s jemnou deformací mřížky a vzniku vnitřních napětí, což má za následek nárůst pevnosti a tvrdosti. V průběhu stárnutí tyto zóny rostou a koherentní rozhraní se mění na semikoherentní za vzniku přechodového precipitátu  $\theta''$ . Návaznost mřížek obou fází není dokonalá a rozdíl v mřížkovém parametru je kompenzován tvorbou dislokací = zvýšení pevnosti a tvrdosti. V tuto chvíli je dosaženo maximálního zpevnění. Při pokračování vytvrzování dochází k tzv. přestárnutí slitiny, což má za následek snížení mechanických vlastností. Obrázek 11 zachycuje změny v mřížce během TZ, obrázek 12 vliv doby stárnutí na pevnost a tvrdost materiálu.

Dodané profily z materiálu EN AW 6060 jsou tepelně zpracovány dle stavu T66. Tímto typem tepelného zpracování lze dosáhnout nejlepších možných charakteristik tohoto materiálu. Dle normy ČSN EN 515 je tento stav definován jako stav po rozpouštěcím žhání s následným umělým stárnutím – úroveň mechanických vlastností je vyšší než u stavu T6, čehož se dosáhne speciálně řízeným zpracováním. Rozpouštěcí teplota intermetalické fáze  $Mg_2Si$  leží v rozmezí 500 - 540 °C. Vliv na tuto teplotu má především obsah hořčíku a křemíku (obr. 13). Díky malému obsahu hlavních legujících prvků je slitina „samokalitelná“, tedy lze získat prosycený tuhý roztok i při ochlazování na vzduchu. Toto je velkou výhodou, ochlazované profily se méně deformují a není třeba je rovnat. Závislost podílu Si + Mg na kritické ochlazovací rychlosti je na obrázku 14. Následné stárnutí probíhá při teplotě 160 – 180 °C po dobu 8 – 12 hodin kdy dochází k difuzi přísadových prvků a nukleaci fáze  $Mg_2Si$ .



Obr. 13 Vliv obsahu Mg a Si na rozpouštěcí teplotu [24]

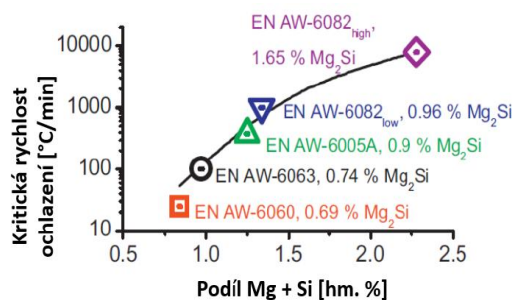
Následné stárnutí probíhá při teplotě 160 – 180 °C po dobu 8 – 12 hodin kdy dochází k difuzi přísadových prvků a nukleaci fáze  $Mg_2Si$ .

Přesné mechanické vlastnosti, které má materiál EN AW 6060 po TZ na základě normy EN ISO 6892-1 zobrazuje tabulka 7. Dále tabulka obsahuje mech. vlastnosti ověřené tahovou zkouškou právě na základě normy EN ISO 6892-1 (příloha 4).

Tab. 7 Mech. vlastnosti EN AW 6060 T66 [19; 23]

	Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
Min.	150	195	8,0
Max.	213	233	14,2
*	200,6	225,5	11,5

\* přesné mechanické vlastnosti materiálu na základě certifikátu od dodatele pro danou tavbu (viz příloha 3)



Obr. 14 Vliv podílu Mg + Si na kritickou rychlost ochlazení [24]



Mechanické vlastnosti základního materiálu po TZ zpracování známe, avšak problémem jsou mechanické vlastnosti materiálu získané tepelným ovlivněním při svařování. Velký nárůst teploty během svařovacího cyklu vede k rozpuštění precipitátů, které byly získány tepelným zpracováním, v lokální oblasti kolem svarového kovu. Dalším parametrem, jenž ovlivňuje mechanické vlastnosti základního materiálu, je promísení tohoto materiálu s materiálem přídavným. Výsledná struktura a složení svarového kovu lze těžce určit, a tedy i mechanické vlastnosti.

Podstatný vliv na pevnost svaru má právě zvolený přídavný materiál. Jeho volba závisí v první řadě na chemickém složení, které je voleno dle základního materiálu. Dalším velmi důležitým aspektem jsou mechanické vlastnosti svarového spoje. Přídavný materiál, by měl mít mechanické vlastnosti alespoň na úrovni materiálu základního nebo lepší. Špatná volba může vést k celkovému znehodnocení výsledného svarového spoje, a tedy i k havarijnímu stavu výsledného dveřního rámu.

Pro zadaný projekt dveřního rámu je jako přídavného materiálu využíváno materiálu s označením S Al 5087. Toto značení vychází z normy EN ISO 18273 (Svařovací materiály – Svařovací dráty a tyče pro svařování hliníku a slitin hliníku – Klasifikace). Firma ESAB, jenž tento přídavný materiál dodává pod označením OK Tigrod 5087 (OK Tigrod 18.17) ho specifikuje, jako přídavný materiál pro svařování hliníkových slitin s obsahem hořčíku do 5 % a slitin s požadavkem na vyšší pevnost. Legující prvek Zirkon zlepšuje odolnost proti trhlinám za tepla a při tuhnutí svarového kovu. Chemické složení dle firmy Voestalpine je v tabulce 8, fyzikální vlastnosti v tabulce 9. Tabulka chemického složení je doplněna dále o hodnoty získané dle Atestu od firmy Voestalpine (příloha 6) a tabulka 10 shrnuje udávané mechanické vlastnosti od firmy Voestalpine a dle Atestu.

Tab. 8 Chemické složení přídavného materiálu S Al 5087 [27], [30]

S Al 5087	Chemické složení [%]										
	Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Zr	Mg	Zn	Be
Obecně	0,10	0,90	0,1	-	0,1	zbytek	0,2	0,15	4,7	-	-
Atest	0,02	0,8	0,07	< 0,01	0,11	94,1	0,09	0,12	4,6	< 0,01	0,0003

Tab. 9 Fyzikální vlastnosti přídavného materiálu S Al 5087 [27]

Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplotní rozsah tání [°C]	Měrná el. vodivost [MS/m]	Tepelná vodivost [W/m°C]	Tepelná roztažnost [10 <sup>-6</sup> /°C]
2,66	574 - 638	17 - 19	110 - 120	23,7

Tab. 10 Mech. vlast. přídavného mat. S Al 5087 [27; 30]

	Rp0.2 [MPa]	Rm [Mpa]	A5 [%]
Obecně	130	280	30
Atest	≥ 125	≥ 275	≥ 16

Přídavný materiál je ve formě drátu s kruhovým průřezem o průměru 2,4 mm a délce 1000 mm. Tento drát přidává svářeč do tavné lázně ručně. Právě ruční podávání přídavného materiálu s kombinací ručního vedení svařovacího hořáku, může při nedostatečné zručnosti svářeče ovlivnit výslednou kvalitu svarového spoje. Na obrázku 15 je příklad přídavného materiálu.

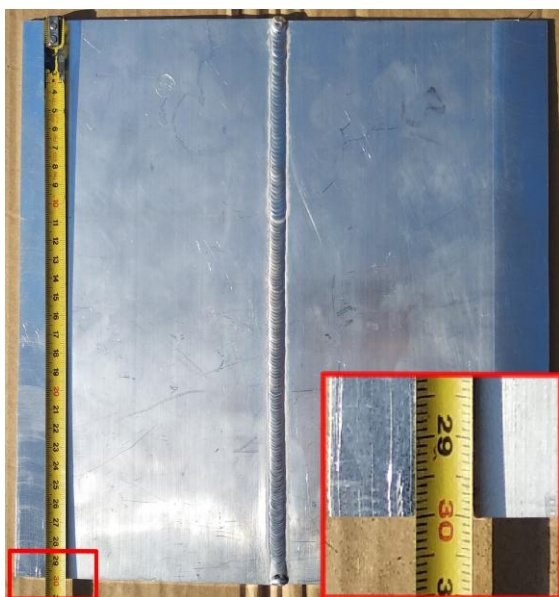


Obr. 15 Přídavný materiál [31]

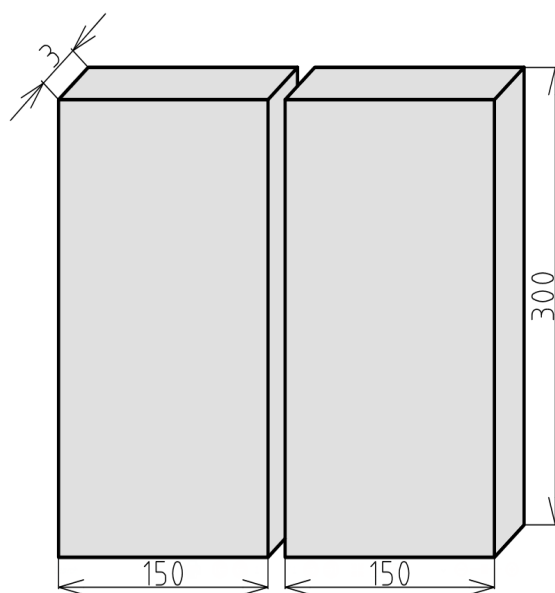


Firma IFE poskytla část informací z protokolu tahové zkoušky svařence. Testovací vzorek z hliníkové slitiny EN AW 6060 T66 byl svařen pomocí metody TIG dle specifikace na základě WPS protokolu. Jako přídavný materiál byl použit – S Al 5087 (AlMg4,5MnZr). Z protokolu je patrné, že zkoušce byly podrobeny dva vzorky. První vzorek dosáhl meze pevnosti  $R_m = 124,0$  MPa a druhý  $R_m = 129,6$  MPa. Rozdíl z hlediska meze kluzu mezi vzorky je minimální. Mez kluzu ovšem uvedena v protokolu tahové zkoušky není. Tato chybějící charakteristika je ovšem velmi důležitá jako stanovení hranice u následné simulace statického zatížení dveřního rámu.

Bylo rozhodnuto, že mez kluzu bude stanovena na základě nově provedené zkoušky tahem. Od firmy IFE byl dodán svařenec skládající se ze dvou plechů (obr. 16) o tloušťce 3 mm. Rozměry plechů, jenž zachycuje obrázek 17, akceptovaly požadavky normy ČSN EN ISO 15614-2 (Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 2: obloukové svařování hliníku a jeho slitin). Základní materiál EN AW 6060 T66 byl svařen pomocí metody TIG a využito bylo přídavného materiálu S Al 5087 (AlMg4,5MnZr). Přesná specifikace přídavného materiálu dle atestu je v příloze 6. Svaření a příprava spoje proběhla dle parametrů vycházejících z WPS, tudíž bylo dosaženo podmínek shodujících se s podmínkami v reálném provozu.

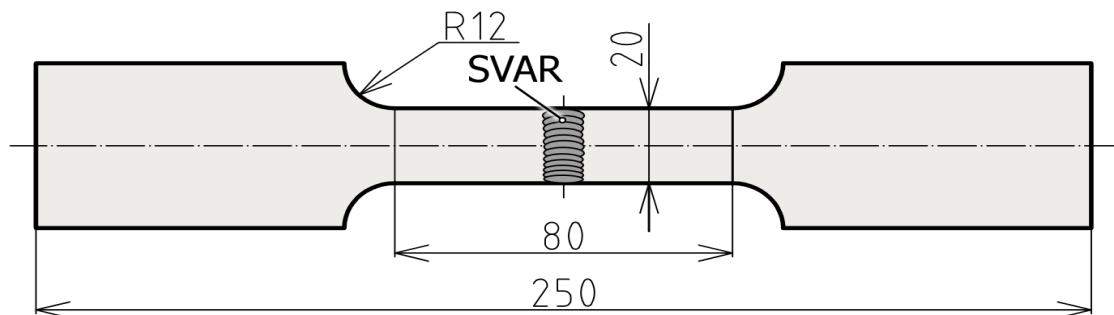


Obr. 16 Svařenec pro vzorky



Obr. 17 Rozměry svařených plechů [32]

Ze svařených plechů bylo potřeba připravit vzorky, které budou moci být odzkoušeny na trhačím lisu. Rozměry vzorků pro tahovou zkoušku musí být dle určitých pravidel. Ta lze nalézt v normě ČSN EN ISO 4136 (Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Příčná zkouška tahem). Vlastní zkouška tahem byla provedena dle normy ČSN EN ISO 6892-1 (Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty). Finální kontura vzorků pro tahovou zkoušku s okótovanými rozměry je na obrázku 18. Při celém procesu výroby vzorků, bylo nutné brát v potaz, že materiál nesmí, nebo naprosto minimálně, být tepelně ovlivněn. Nárůst teploty by v materiálu způsobil precipitačně vytvrzovací proces, který by byl doprovázen změnou mechanických vlastností a tedy i změnou hledané meze kluzu. Změřená mez kluzu by neodpovídala vlastnostem na reálném rámu dveří. I sebe lepší výpočetní simulace by vedla k chybnému závěru. Z tohoto důvodu byla vyřazena možnost získat výslednou konturu vzorku pomocí vypálení laserem či plazmou. Velmi vhodnou metodou by se jevil vystřižení či vyříznutí vodním paprskem, avšak přístup k těmto technologiím nebyl možný. Nakonec byl zvolen postup rozřezání plechu na jednotlivé pásky a jejich následné ofrézování.



Obr. 18 Vzorek pro tahovou zkoušku

Prvním krokem bylo rozdělení vzorků napříč vůči ose svaru. Z celkové šířky svařence 300 mm bylo možno nařezat šest pásků o šířce 50 mm. Rozřezání bylo provedeno kmitací pilou Bosch PST 54 PE, do které byl upnut pilový plátek T 118 A HSS. Plátek je vyroben z rychlořezné oceli a je vybaven zvlněnými, frézovanými zuby s roztečí 1,1 – 1,5 mm. Určen je pro základní kovové plechy o tloušťce v rozmezí 1 – 3 mm. Plech byl podložen dřevěným hranolkem a připevněn ke stolu zámečnickou svěrkou. Při procesu řezání bylo nutné pilový plátek mazat, jinak docházelo k zalepení zubových mezer bez možnosti pokračování v řezu. Jako mazivo bylo využito univerzálního mazacího spreje WD-40. Řezný proces s použitými pomůckami je zobrazen na obrázku 19.



Obr. 19 Řezný proces s použitými pomůckami

Po nařezání vzniklo šest pásků plechu, které měli na každé straně 3mm přídavek. Tento přídavek byl následně odstraněn frézováním, čímž došlo k zarovnání nepravidelnosti šířky nařezaných pásků plechu. V důsledku frézování vzorků na konvenční frézce, bylo nutné frézovat všechny vzorky naráz, aby nebyla jejich geometrie rozdílná. Nařezané pásky plechu byly poskládány na sebe a z důvodu zabránění jejich kolébání na jednotlivých svarech proloženy sololitem o tloušťce 3 mm. Vnější plechy byly taktéž obloženy sololitem, aby při upínání do svěráku nedocházelo k povrchovému odírání. Následovalo provrtání všech pásků se sololitem pomocí ruční vrtáčky NAREX EV8 vybavené válcovým vrtákem průměru 6 mm. Pro zajištění proti pohybu byly plechy se sololitem uchyceny v dílenském svěráku a zámečnické svěrce (obr. 20). Do vyvrtaných děr byly vloženy šrouby a pomocí matice zajištěny.



Obr. 20 Upnutí plechů při vrtání

Samotné frézování probíhalo ve dvou krocích, kdy každý byl realizován na jiném obráběcím stroji. V prvním kroku proběhlo zarovnání řezané plochy a zkrácení na požadovaný rozměr. Provedení tohoto procesu proběhlo na soustruhu, u kterého byla nožová hlava nahrazena frézovacím suportem. Frézovací suport umožňuje sevření obrobku mezi čelisti a jeho pohyb ve svislém směru. Frézování probíhalo obvodovou frézou o průměru 60 mm a počtem zubů 20. Proces frézování řezaných ploch je zachycen na obrázku 21.

Ve druhém kroku bylo vyfrézováno zúžení vzorku. Z hlediska vyšší náročnosti na upnutí nebylo možno dokončit tento úkon na stejném obráběcím stroji jako v případě zarovnání řezaných ploch. Bylo využito svislé frézky Bernardo KF 60. Jako řezný nástroj posloužila stopková fréza z rychlořezné oceli průměru 24 mm. Obrobek byl upnut do dvou strojních svěráků s možností frézování vybrání na jedno upnutí. Tak bylo dosaženo větší přesnosti. Zamezení ohřevu plechů řezným proces bylo provedeno za pomoci řezné kapaliny. Proces frézování vybrání na vzorcích určených pro tahovou zkoušku zachycuje obrázek 22.



Obr. 21 Proces frézování řezaných ploch



Obr. 22 Proces frézování vybrání

Po ofrézování zbývalo zkrátit vzorky na požadovanou délku. Ke zkrácení byla použita ruční pila na kov. Po ořezání přebytečného materiálu stačilo zabrousit otřepy vzniklé předchozími technologickými úkony. Výsledkem byl připravený vzorek pro tahovou zkoušku (obr. 23). Měrné rysky o vzdálenosti 80 mm byly narýsovány pomocí tužky a pravítka.



Obr. 23 Připravený vzorek pro tahovou zkoušku

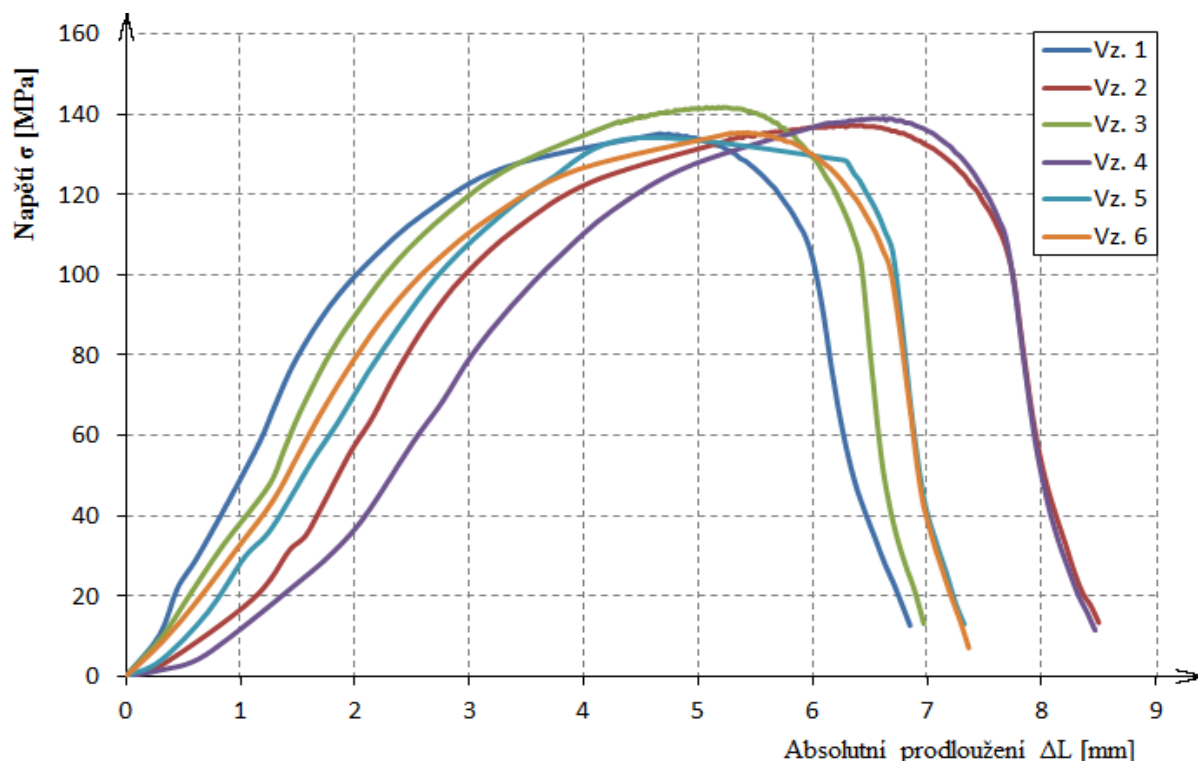
Příčnou tahovou zkouškou byly zjištěny materiálové charakteristiky po svaření, ke kterým se řadí mez pevnosti ( $R_m$ ), smluvní mez kluzu ( $R_{p0,2}$ ) a tažnost ( $A$ ). Nejvíce sledovanou hodnotou je smluvní mez kluzu, neboť na základě této hodnoty bude následně počítán a vytvářen simulační návrh. I pro samotný dveřní rám je tato hodnota důležitější než mez pevnosti, z důvodu nutnosti zachování výchozího tvaru dveří i po odeznění zatížení.

Tahové zkoušce bylo celkem podrobena šest vzorků. Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulce 11. Prostředí softwaru M-TEST v1.7 s naměřenými výsledky zachycuje příloha 8. Z výsledků je jasné patrné, že materiálové charakteristiky jednotlivých vzorků jsou, co se týče tažnosti, velmi podobné. Největší rozdíl smluvní meze kluzu získáme při porovnání vzorku 1 a vzorku 5, jenž je roven 11,55 MPa. Průběh tahové zkoušky všech šesti vzorků z hlediska závislosti napětí na absolutním prodloužení je na tahovém diagramu (obr. 24). Přetržený vzorek je na obrázku 25, na kterém je viditelné, že k porušení došlo zřejmě v tepelně ovlivněné oblasti. Pro jasné určení by bylo třeba zjistit mikrostrukturu či změřit tvrdost kolem svarového kovu. Shodného porušení se dosáhlo i na zbývajících vzorcích. Mezní hodnoty simulace odpovídají naměřeným hodnotám vzorku 1.



Tab. 11 Výsledky tahové zkoušky

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6
<b>R<sub>m</sub> [MPa]</b>	135,31	137,26	141,76	139,06	139,81	135,46
<b>R<sub>p0,2</sub> [MPa]</b>	108,31	114,61	109,66	117,45	119,86	109,36
<b>A [%]</b>	6,25	7,5	6,25	6,25	6,25	6,88



Obr. 24 Tahový diagram



Obr. 25 Přetržený vzorek

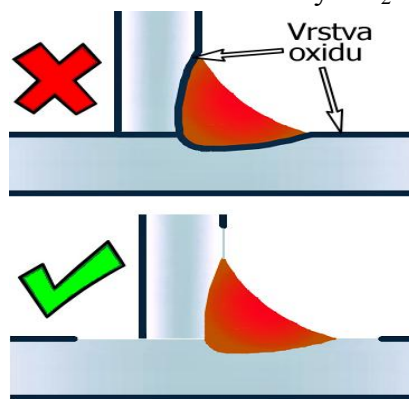
Zkouška tahem byla vykonána na hydraulickém stroji ZD40/400kN (obr. 26) zkonstruovaném firmou HBN. Stroj umožňuje provádět nejen tahové, ale i tlakové a ohybové zkoušky, u kterých lze nastavit rychlost zatěžování. Zatížení lze měřit v rozsahu 8 – 400 kN a dráhu od 0 až po 280 mm. Příčník je opatřen inkrementálním délkovým snímačem polohy s rozlišením 0,01 mm a také snímačem síly. Všechny naměřené informace zpracovává řídicí jednotka EDC 60 s následným zaznamenáním výsledků tahové zkoušky softwarem M-TEST v.1.7. Vstupními parametry, které je nutné zadat do softwaru jsou tloušťka a šířka vzorku. Z těchto parametrů je následně vypočten průřez vzorků, který byl u všech vzorků stejný a byl roven hodnotě 62,70 mm<sup>2</sup>. Rychlost zkoušení byla 6 MPa/s. Základní parametry hydraulického stroje ZD40/400kN lze nalézt příloze 7.



Obr. 26 ZD40/400kN

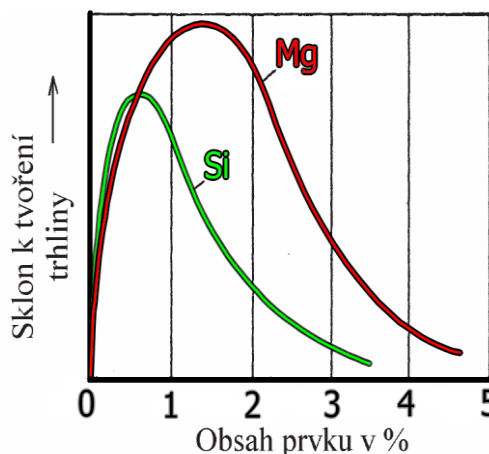
Svařitelnost hliníku a jeho slitin je schopnost materiálu vytvořit za jistých podmínek svarový spoj požadovaných vlastností. Strukturní odlišnost svarového spoje, která vznikla vlivem prudkého ohřevu a následného ochlazení, od struktury základního materiálu má vliv na mechanické a únavové vlastnosti spoje, ale i na jeho korozní odolnost. Činitelé, které ovlivňují svařitelnost hliníku a jeho slitin jsou:

- **Velká afinita hliníku ke kyslíku**, která způsobuje tvorbu oxidické vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s vysokou teplotou tavení ( $2050^\circ\text{C}$ ) a vyšší měrnou hmotností ( $3,96 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) než základní materiál. Tato vrstva zabráňuje metalickému spojení základního a přídavného materiálu. Jasně viditelné to je na obrázku 27. V prvním případě je mezi svarovým kovem a přídavným materiálem vrstva oxidu = svar je pouze „přilepen“. Ve druhém je před svařováním odstraněna vrstva oxidu a je dosaženo kvalitního spojení. Z tohoto důvodu je nutné před počátkem svařování tuto vrstvu odstranit a to buď pomocí chemických čisticích prostředků, které oxidickou vrstvu rozpouští nebo fyzikálními vlivy při svařování.

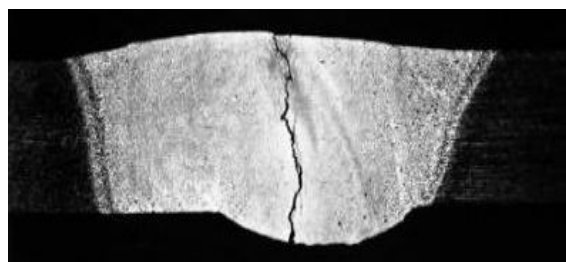


Obr. 27 Svar s/bez oxidické vrstvy [41], [43]

- **Velký koeficient tepelné roztažnosti** vede ke vzniku vnitřního napětí či deformaci, jejichž důsledkem vznikají trhliny ať už za tepla (solidifikační) nebo za studena. Na praskání za tepla jsou náchylnější svařky, které mají široký interval tuhnutí (interval mezi likvidem a solidem) z důvodu prudké změny koeficientu objemové roztažnosti při přechodu z pevné do tekuté fáze. Trhliny za tepla vznikají tehdy, je-li objem eutektika při krystalizaci malý a nedostatečně vyplňuje prostor mezi rostoucími dendrity. Větší množství eutektika je schopno zacelovat trhliny, které při tuhnutí vznikají. Objem eutektika je ovlivněn množstvím legujících prvků, které nesmí být v tzv. kritické koncentraci (obr. 28). Pomocí přídavného materiálu s potřebnými legujícími prvky, lze koncentraci eutektika ovlivnit a dostat se na objem eutektické fáze (15 – 25 %), kdy dojde k potlačení vzniku solidifikačních trhlín (obr. 29). Výskyt studených trhlín v hliníkových slitinách nebývá příliš častý. Nejčastěji se s nimi setkáváme u vysokolegovaných slitin při tuhém upnutí. Vznikají v rozmezí teplot  $200 - 400^\circ\text{C}$  po délce svaru. Mají transkrystalický charakter a lesklý, neoxidovaný povrch. Hlavní příčinou vzniku je přítomnost vodíku ve svarovém spoji, a dále struktury citlivé na účinek vodíku a zbytkové tahové napětí. Při svařování s malým tepelným ovlivněním lze trhliny tohoto typu omezit na minimum.



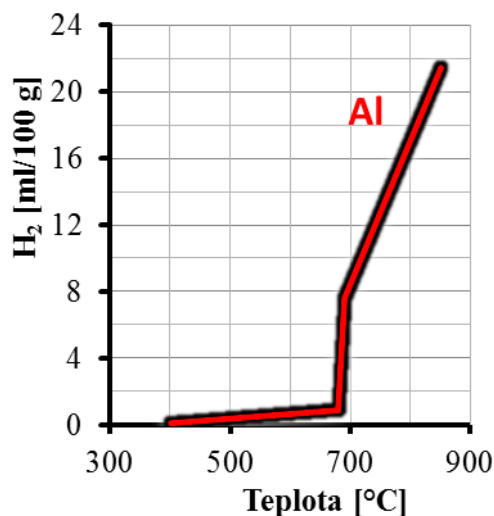
Obr. 28 Vliv obsahu leg. prvků k tvoření trhlín za tepla [13]



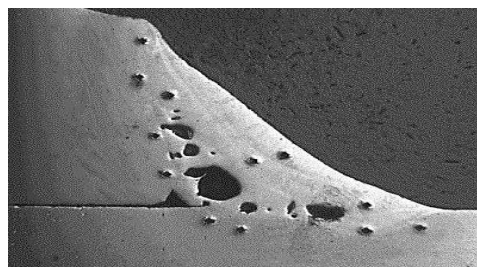
Obr. 29 Solidifikační trhlina [41]

- **Dobrá tepelná vodivost** hliníku je dalším problémem, který si vynucuje použití vyšších tepelných příkonů během svařování a někdy i nákladného předehřevu. U součástí do tloušťky 8 mm není předehřev potřeba. U slitin, které nejsou teplem vytvrditelné lze použít teplotu předehřevu 150 °C. Vhodnou teplotu předehřevu lze nalézt v normě EN 1011-4, kde jsou uvedeny i teploty interpass.

- **Velká rozpustnost plynů v hliníku** má za následek potíže při zhotovení bezpórovitého svaru. Je tedy nutné pečlivě očistit a odmastit svarové plochy a poté se vyvarovat kontaminaci s jakoukoliv vlhkostí, mastnotou a prachem. Největší vliv na tvorbu pórů má vodík, jehož nositelem je vlhkost. Zdrojem tedy mohou být nejen samotné svarové plochy, ale i přídavný materiál, který je nutné správně skladovat a případně před použitím vysušit. Dále je nutné odstranit oxid hliníkový, neboť je silně hygroskopický. To znamená, že oxidová vrstva absorbuje vzdušnou vlhkost a zadržuje ji v sobě. Nepříznivý vliv vodíku spočívá ve změně jeho rozpustnosti v hliníku v závislosti na teplotě (obr. 30). Při tuhnutí hliníkového svarového kovu prudce klesá rozpustnost vodíku v hliníku, který rychle krystalizuje. Část vodíku zůstane ve svarovém spoji a k jeho vyloučení dojde až pod teplotou solidu, což má za následek vznik pórů a bublin (obr. 31). Při samotném svařovacím cyklu je tedy dobré zkrátit čas přímého tavení a přehřátí svarového kovu. U obloukových metod lze využít tzv. pulsní režim.

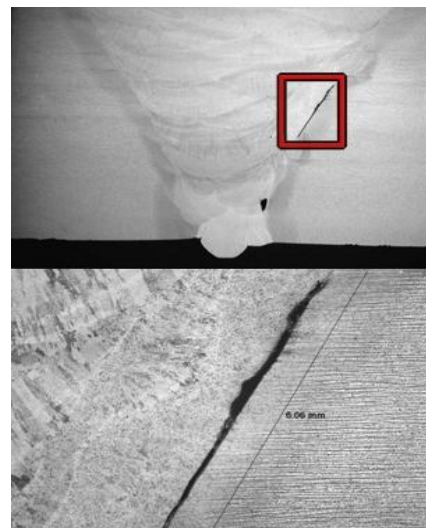


Obr. 30 Rozpustnost vodíku v hliníku v závislosti na teplotě [45]



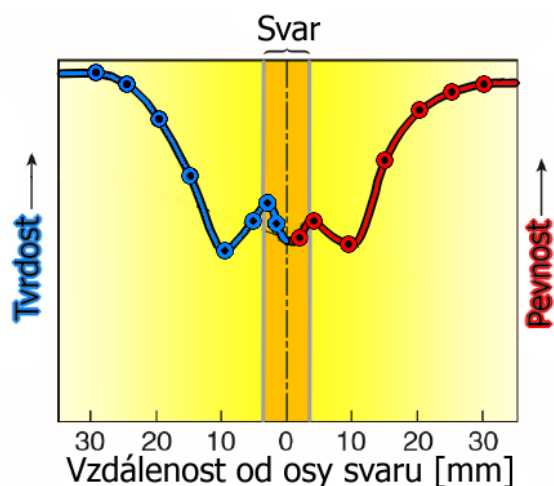
Obr. 31 Póry ve svarovém spoji [46]

- **Rozdílné mechanické vlastnosti v litém a tvářeném stavu** ztěžují zhotovení spoje, který se svými vlastnostmi přibližuje základnímu materiálu. Toto se týká zejména materiálů tvářených za studena. Stejných vlastností se docílí těžko, neboť svarový kov má lici strukturu, zatímco základní materiál tvářenou.
- **Hliník při ohřevu nemění barvu**, což má za následek těžší vizuální určení teploty tavení. Při svařování je důležité, aby svářeč přesně rozpoznal hranice tavné lázně a udržoval korektní rychlost svařování. Svařovací rychlost musí být udržována tak, aby elektrický oblouk směřoval do první třetiny délky svarové lázně. Při zrychlení může dojít k propalu základního materiálu nebo dokonce k tvorbě studeného spoje a trhání svarové housenky. Zpomalení vede k předbíhání svarové lázně před oblouk tak, že dojde k zalití zatím nenatavených svarových ploch, o které se lázeň ochladí a dojde k jejich pouhému „přilepení“ = studený spoj (obr. 32).

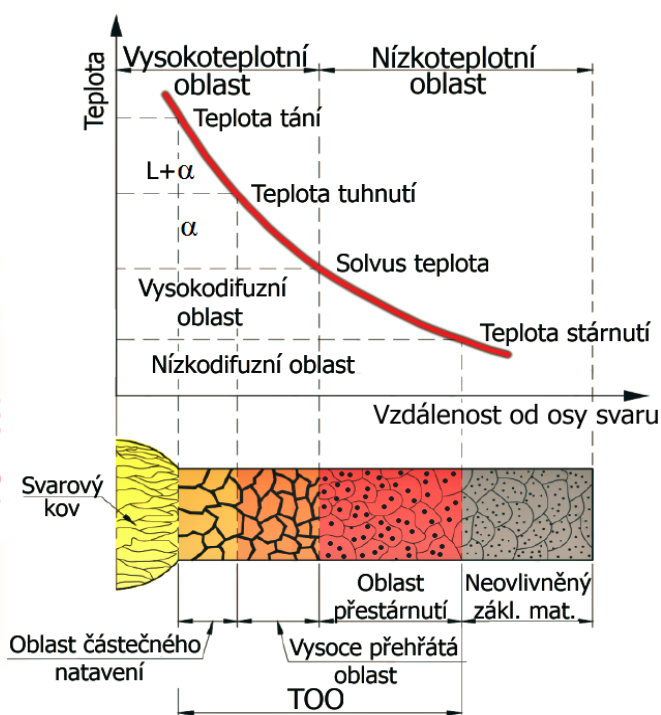


Obr. 32 Studený spoj [47]

- **Citlivost některých hliníkových slitin na ohřev**, který způsobuje precipitační proces v tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu, což vede ke zhoršení mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Toto se týká slitin, které jsou schopny vytvrzování. U slitiny EN AW 6060 dochází ke změně struktury vlivem rozpouštění precipitátů  $Mg_2Si$  vzniklých při předchozím tepelném zpracování, nebo jejich růstu na úkor snižování počtu. Změnu struktury v TOO v závislosti teploty na vzdálenosti od osy svaru je na obrázku 34. Vliv na tvrdost a pevnost, taktéž v závislosti na vzdálenosti od osy svaru, svařovaného materiálu zachycuje obrázek 33. S tímto jevem je nutné počítat už při konstrukci a navrhování technologického postupu. Pro nejmenší možné ovlivnění je nutné svařovat co nejrychleji, aby ovlivnění vysokou teplotou působilo co nejkratší dobu a nedocházelo k velkému množství vneseného tepla. Velký vliv má tedy použitá technologie svařování a volba svařovacích parametrů.



Obr. 33 Změna pevnosti a tvrdosti dle vzdálenosti od osy svaru [17]



Obr. 34 Změna struktury v TOO [17]



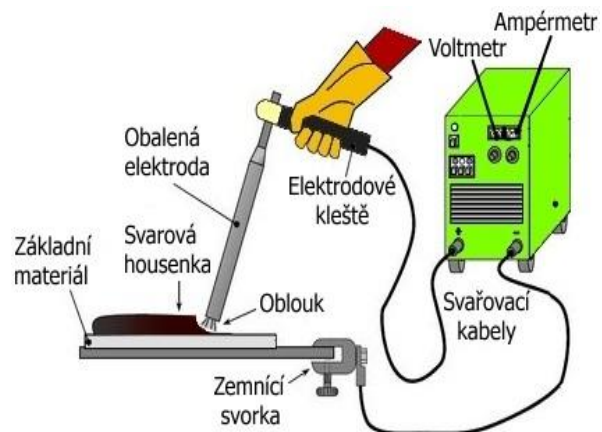
## 1.1 Varianty změny výroby [44]

Zlepšit ekonomičnost výroby dveřního rámu bez nutnosti změny konstrukčního návrhu lze dvěma způsoby. Prvním je použití jiné metody svařování, která musí splňovat především kritéria jako je svařitelnost hliníkové slitiny, tvorby kvalitního svaru, minimalizace vneseného tepla, dobré produktivity a nízké pořizovací ceny. Druhým způsobem je úprava výkresové dokumentace se zaměřením na snížení délky či absolutní eliminaci svaru. Tento krok ovšem nesmí způsobit snížení pevnosti dveřního rámu, pod minimální možnou úroveň. U veškerých variant je nutno brát v potaz roční produkci dveří, která přesahuje 8000 kusů.

### 1.1.1. Metody svařování a lepení [7; 24; 39; 40; 41; 42; 44; 48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65]

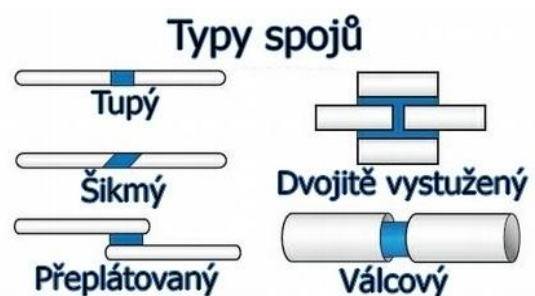
Hliník a hliníkové slitiny lze svařovat širokým spektrem svařovacích metod. Může se jednat o metody využívající k provedení spoje tepla, dále tepla a tlaku, ale i působením samotného tlaku. Metody tlakové jsou pro dveřní rám nevyužitelné, taktéž některé metody využívající tepla a tlaku (FSW, indukční svařování, svařování elektrickým odporem) a právě proto jim dále nebude věnována pozornost. K základním patří určitě metody obloukové: svařování obalenou elektrodou, MIG (Metal Inert Gas) a TIG (Tungsten Inert Gas). V současné době roste využití metod, které minimalizují objem nataveného materiálu, a tím i šířku svarového spoje a TOO. Jde především o svařování plazmou, laserem nebo elektronovým paprskem. Níže jsou uvedeny použitelné metody se základním popisem a zhodnocením vhodnosti pro svařitelnost dveřních rámu. Jeden odstavec je věnován taktéž lepení, neboť se jedná o velmi dobrou alternativu ke svařování.

- **Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)**, dle anglické zkratky značeno jako MMA (Manual Metal Arc Welding), (obr. 35). Charakterizuje se jako metoda svařování elektrickým obloukem s kovovou odtavující se elektrodou, která je obalena tavidlem. Pro zapálení a hoření elektrického oblouku se využívá stejnosměrný, nebo střídavý elektrický proud v závislosti na použitých elektrodách a svařovaném materiálu. Obal elektrody (tavidlo) má metalurgickou, plynotvornou a ionizační funkci. K výhodám metody MMA patří: jednoduchost a přenosnost zařízení MMA, není vyžadováno externí plynové hospodářství, možnost svařování v polohách, nižší nároky na přístup. Tyto pozitiva jsou vytačena negativy, jako je nutnost odstranění strusky z povrchu svarového spoje, nízká produktivita a velké množství vneseného tepla.



Obr. 35 MMA [50]

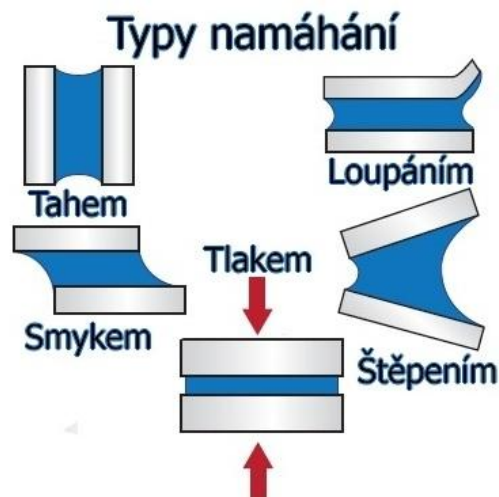
- **Lepení kovů** je proces, při kterém se dosahuje trvalého a pevného spojení mezi dvěma kovovými materiály použitím lepidel. Pevnost lepeného spoje závisí na těchto parametrech: přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (adheze), soudržnosti hmoty lepidla (koheze), smáčivosti lepeného povrchu lepidlem a pevnosti lepeného materiálu. Základem vzniku



Obr. 36 Typy spojů [53]

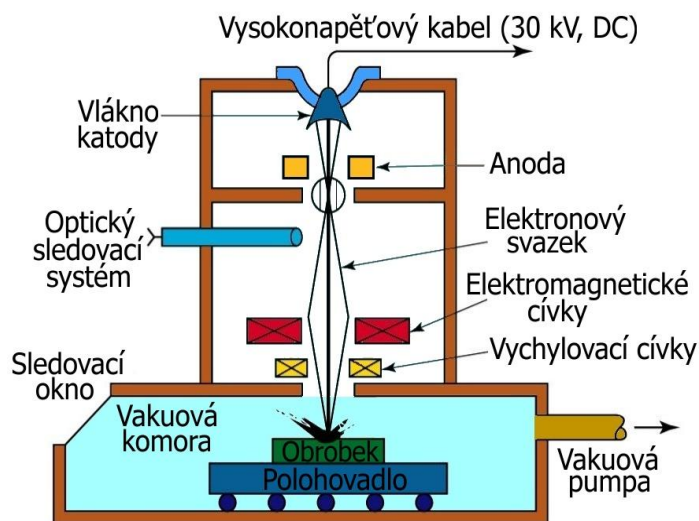


kvalitního spoje je povrchová úprava. Slitinu hliníku je nutné zbavit veškerých nečistot, oxidů a mastnoty například pomocí MEK, acetonu či izopropylalkoholu. Vhodné je také zdrsnění povrchu brusným papírem o zrnitosti 320 – 400, či pískování oxidem hlinitým nebo chemické moření. Vlastní lepení je nutné provést do jedné hodiny po úpravě povrchu. Lepená konstrukce by měla být rozdělena na co nejméně složité části. Typy spojů (obr. 36) a namáhání (obr. 37) musí být správně kombinovány, aby bylo dosaženo maximální pevnosti. Vhodným lepidlem pro zadaný materiál jsou dvousložková reaktivní polyuretanová lepidla. Velkou výhodou oproti svařování je, že materiál není tepelně ovlivněn a nedochází tedy k poklesu pevnosti spojovaného materiálu.

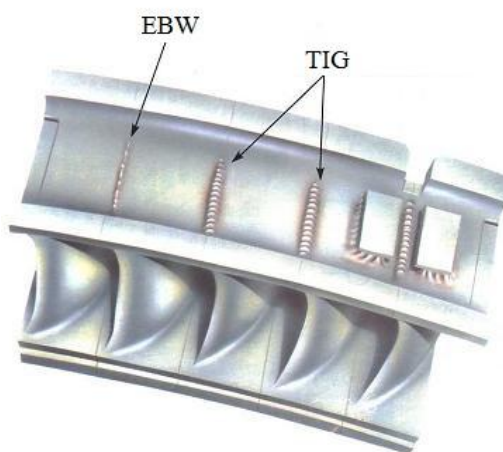


Obr. 37 Typy namáhání [53]

- Elektronové svařování (51)**, dle anglické zkratky značeno jako EBW (Electron Beam Welding). Schéma zařízení je na obrázku 38. Svařování elektronovým svazkem (paprskem) využívá pro ohřev spojovaných materiálů fokusovaný svazek elektronů o vysoké energii. Pomocí vysokého napětí jsou elektrony urychleny na přibližně 30 – 70 % rychlosti světla a při následném dopadu na materiál dochází k přeměně kinetické energie na tepelnou, která ohřívá svařované součásti. Plošná hustota energie svazku je natolik intenzivní, že paprsek téměř okamžitě taví a odpařuje kov v místě dopadu. Svařování probíhá bez přídavného materiálu v uzavřené pracovní komoře, která je čerpána na vysoké vakuum až  $5 \cdot 10^{-4}$  Pa. Vakuum omezuje srážky elektronů s molekulami vzduchu, které způsobují jejich zbrzdění. Celý proces je řízen počítačem. Obrovskou výhodou elektronového svazku je možnost dosažení velké štíhlosti svaru. Porovnání svaru zhotoveného metodou EBW a metodou TIG zobrazuje obrázek 39. Z hlediska nutnosti provádění svarů ve vakuové komoře a vhodnosti především pro výrobu s velkým počtem výrobků není tato metoda vhodná pro řešenou problematiku.

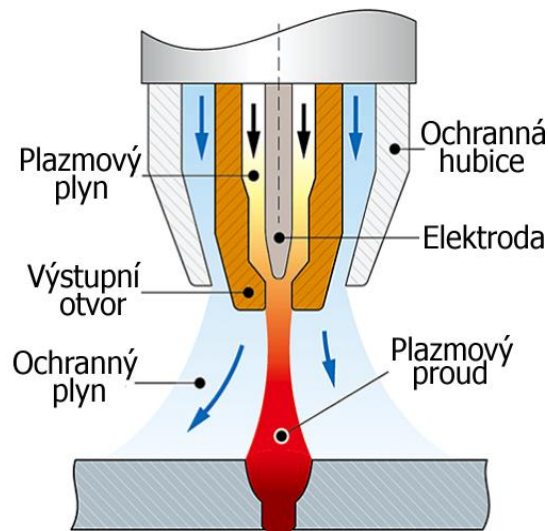


Obr. 38 EBW [56]



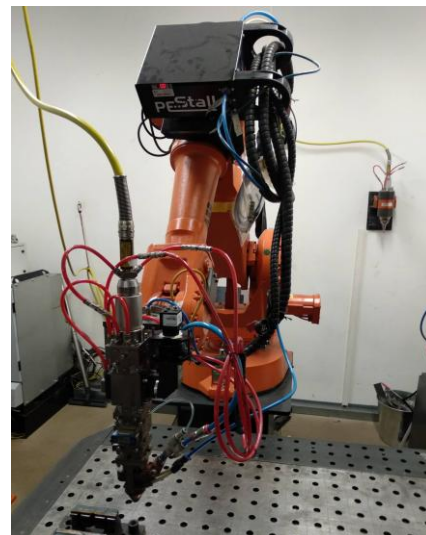
Obr. 39 Porovnání svaru zhotoveného metodou EBW a TIG [57]

- Plazmové svařování (15)**, dle anglické zkratky značeno jako PAW (Plasma Arc Welding). Metoda svařování plazmou (obr. 40) je po technologické stránce velmi podobné metodě TIG, ze které se vyvinula. Při svařování se využívá koncentrace tepla a dynamického účinku plazmy, jenž je výsledkem zúžení elektrického oblouku, který se tvoří mezi wolframovou elektrodou a svařencem. Okolo elektrody proudí plazmový plyn, který se vlivem působení tepla oblouku prudce roztahuje, mění se v plazmu a proudí ven z hořáku velmi vysokou rychlostí. Aby nedocházelo k vyfukování taveniny ze spáry, je nutné aby byla dosažena rovnováha mezi povrchovým napětím taveniny a dynamickým účinkem plazmy. K ochraně svarové lázně před oxidací se využívá argon nebo směs argonu a hélia. Svařovat lze s i bez přídavného materiálu. Využití tzv. svařování klíčovou dírkou umožňuje spojit tupé spoje do tloušťky 8 mm bez nutnosti úkosování na jeden průchod. Toto má velký dopad na úsporu přídavního materiálu, produktivitu a množství vneseného tepla do svařence. Pořizovací cena je vyšší než u metod TIG, MIG.



Obr. 40 PAW [59]

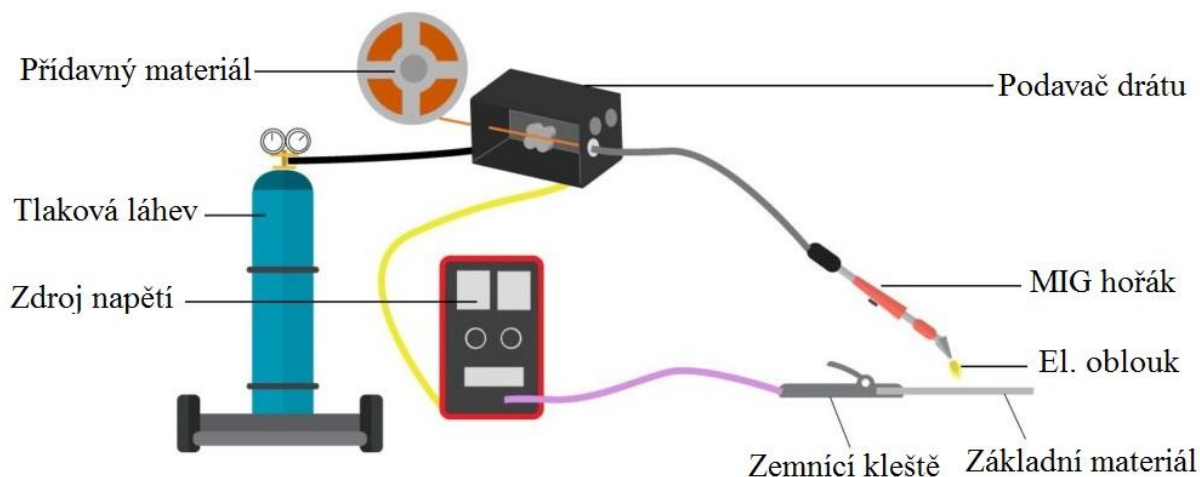
- Laserové svařování (51)**. Při tomto procesu svařování dochází ke spojení materiálů vlivem působení tepla, které vznikne působením koncentrovaného koherentního světelného paprsku na povrch materiálu. Laserový paprsek dosahuje vysoké koncentrace energie, díky čemuž lze dosáhnout vysokých svařovacích rychlostí s minimální tepelně ovlivněnou oblastí. Zároveň intenzivní ohřev umožňuje svařovat i materiály s vysokou tepelnou vodivostí, ke kterým lze hliník zcela určitě zařadit. Při svařování se nepoužívá přídavný materiál. Oxidaci vysoce reaktivních kovů lze snížit použitím ochranné atmosféry. Nevýhodou laserového svařování je nutnost přesného vedení pomocí robotů (obr. 41) a s tím spojené náročné přípravkování, vysoká pořizovací cena a fakt, že hliník disponuje velmi malou absorpcí (vysoká odrazivost), díky které dochází ke snížení účinnosti laseru.



Obr. 41 Robotický manipulátor s laserovou hlavou

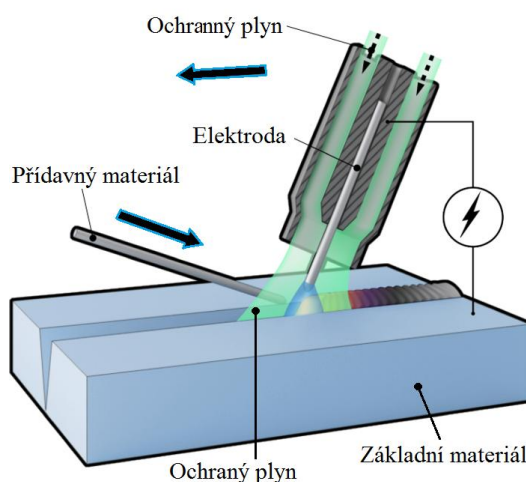
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (131)**, dle anglické zkratky značeno jako MIG (Metal Inert Gas Welding). Elektrický oblouk hoří mezi odtavující se kovovou elektrodou a svařovaným materiálem. Kovová elektroda je ve formě drátu, který se odvíjí z cívky a podává se rovnoměrnou rychlostí na místo svarové lázně a plní funkci přídavného materiálu i nositele oblouku. Svařovací drát je veden přes posuvové kladky do svařovacího hořáku, kde v tzv. kontaktní trubici dochází k přestupu proudu. Volný konec přídavného materiálu je soustředně obklopený plynovou hubicí, kterou protéká ochranný plyn bránící roztavený povrch svařence před chemickými reakcemi s okolním vzduchem. Ochranné atmosféry jsou tvořeny inertními

plyny, které nevystupují do chemické reakce se svarovou lázní. Nejčastěji se využívá argonu, helia či směsí těchto plynů. Hlavní nevýhodou, která omezuje použití v některých oblastech je vznik studených spojů na začátku a konci svaru. Schéma MIG zařízení pro svařování zachycuje obrázek 41.



Obr. 42 Schéma MIG zařízení pro svařování [63]

- **Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu (141)**, dle anglické zkratky značeno jako TIG (Tungsten Inert Gas Welding), (obr. 42). Elektrický oblouk hoří mezi neodtavující se elektrodou a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního plynu. Elektroda je vyrobena z wolframu a jako ochranný plyn se používá argon, hélium nebo jejich směs, jenž omezuje přístup nežádoucích prvků ke svarové lázni a z nich vznikajících vad ve svaru. Přídavný materiál ve formě drátu je do oblouku podáván ručně nebo automaticky. Svařovat lze i pouhým roztavením a slitím základních materiálů. Z důvodu oxidické vrstvy na povrchu hliníku, která zabráňuje metalickému spojení svařovaných dílů, se využívá střídavý proud. Střídavý proud narušuje oxidickou vrstvu a vzniká tak kvalitní svar. Hotové svary není nutné čistit, neboť neobsahují žádnou strusku. Mezi negativy této metody patří malá produktivita a velké množství vneseného tepla.

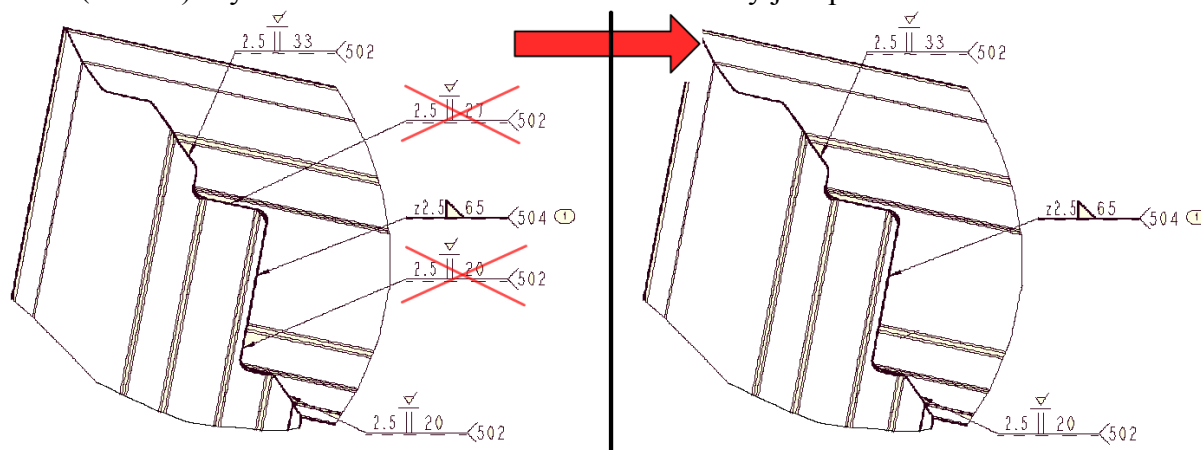


Obr. 43 TIG [65]

Při porovnání jednotlivých metod z hlediska produktivity a tepelného ovlivnění svařovaného materiálu zcela určitě vyhrávají metody svazkové nad metodami obloukovými. Hlavním negativem, které staví tyto metody mimo možnosti použití při výrobě ve firmě IFE je jejich počáteční investice a především nutnost svařování pomocí robota. Metoda MMA je taktéž vyřazena a to z důvodů malé produktivity a odstraňování strusky z povrchu svaru. Zbývající metody MIG a TIG jsou již při výrobě používány a jejich kombinací lze dosáhnout dostatečné produktivity a kvality svaru ve vysoce namáhaných místech a firma IFE se jich momentálně nehodlá vzdát. Řešený projekt je svařován pouze s využitím metody TIG.

### 1.1.2. Úprava výkresové dokumentace [7; 66]

S ohledem na zachování svařovací technologie byla věnována pozornost výkresové dokumentaci dveřního rámu respektive na jednotlivé svary. Redukce délky svarů či jejich vynechání by zcela určitě vedlo ke zkrácení doby svařovacího cyklu a odrazilo se na menší spotřebě elektrické energie, ochranných plynů a přídavného materiálu. Zároveň menší množství vneseného tepla do rámu vede k minimalizaci tepelně ovlivněné oblasti, vzniku vnitřního pnutí a deformace, což by opět vedlo k časové úspoře na pracovišti věnující se rovnání dveřního rámu. Z hlediska pozitiv by tedy došlo k nárůstu produktivity v kombinaci se snížením výrobních nákladů. Avšak zcela určitě by redukce svarů měla negativní dopad na celkovou tuhost rámu a nutnost nalezení metody pro zakrytí mezer vzniklých právě redukcí svarů (obr. 44). Výkresová dokumentace svařované sestavy je v příloze 8.



Obr. 44 Redukce svarů [66]

Z výše uvedených možností vedoucích ke zvýšení produktivity se snížením výrobních nákladů se jako nejideálnější volba jeví redukce svarových spojů. Změna svařovací metody by z důvodů velkých pořizovacích nákladů a nutnosti zásahu do infrastruktury budovy nebyla vhodná. Samotná redukce svaru ovšem nesmí zásadně ovlivnit pevnost dveřního rámu. Požadavky na dveřní konstrukci, které je nutné bez výjimky splnit a řídit se jimi jsou definovány v normě s označením ČSN EN 14752 (Železniční aplikace – Boční vstupní systémy). Z hlediska ušetření financí na základě snížení počtu zatěžovaných prototypových rámu na reálné stolici, bylo rozhodnuto jít cestou simulačních softwarů, které jsou schopny zatěžovací cyklus simulovat.

Svařován tedy bude dveřní rám tvořený profily ze slitiny hliníku EN AW 6060, která je tepelně zpracována dle stavu T66. Ke svaření je využita metoda TIG. Roční produkce dveřních rámu tohoto projektu za rok 2018 dosáhla 8122 kusů. Snížení výrobního času a nákladů bude dosaženo redukcí délky či počtu svarů.



## 2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET RÁMU DVEŘÍ NA ZÁKLADĚ SIMULACE

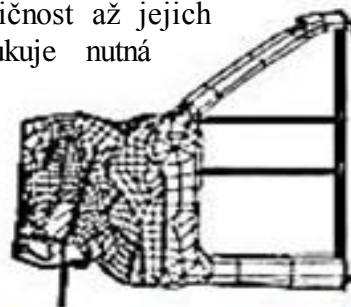
**MKP** [65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 77]

Pevnostní výpočet byl proveden ve firmě MECAS ESI s.r.o. spadající pod společnost ESI Group (obr. 45), jenž je předním světovým tvůrcem softwarů pro virtuální prototypování. ESI Group, se zastoupením ve více než 40 zemích světa, vyvinula speciální metodiku s úmyslem pomoci průmyslovým výrobcům při substituci fyzických prototypů. Propojuje virtuální prototypování s nejnovějšími technologiemi a uplatňuje numerickou simulaci pro celý životní cyklus výrobku – od montáže a uvedení na trh až po jeho likvidaci.



Obr. 45 Logo ESI Group [65]

Software, ve kterém byla simulace provedena, se jmenuje Virtual Performance Solution (VPS). Díky své propracovanosti dokáže čelit výzvám při konstrukci prototypů počínaje požadavky kladenými na snižování hmotnosti, přes ekologičnost až jejich autonomním charakterem konče, přičemž významně redukuje nutná přepracování návrhů a množství iterací. VPS obsahuje velké množství nástaveb, dle potřebného zaměření pro daný výpočet. Využita byla nastavba s názvem PAM – Crash. Jedná se o první software této společnosti, při jehož počátcích byl využíván v kosmickém a jaderném průmyslu. Postupně se dostával do širšího spektra a roku 1986 byla provedena první simulace nárazu na vozu Volkswagen Polo (obr. 46). V dnešní době je využíván v automobilkách po celém světě, jako jsou například Aston Martin, Bentley a BMW.



Virtual Performance Solution je postaven na metodě konečných prvků (MKP) někdy též značenou jako Finite Elements Methods (FEM). MKP je výpočetní metoda užívaná pro analýzy v technické a vědecké oblasti. Umožňuje spočítat složité úlohy, které by šli obtížně řešit jinými, například analytickými postupy. Princip funkce spočívá

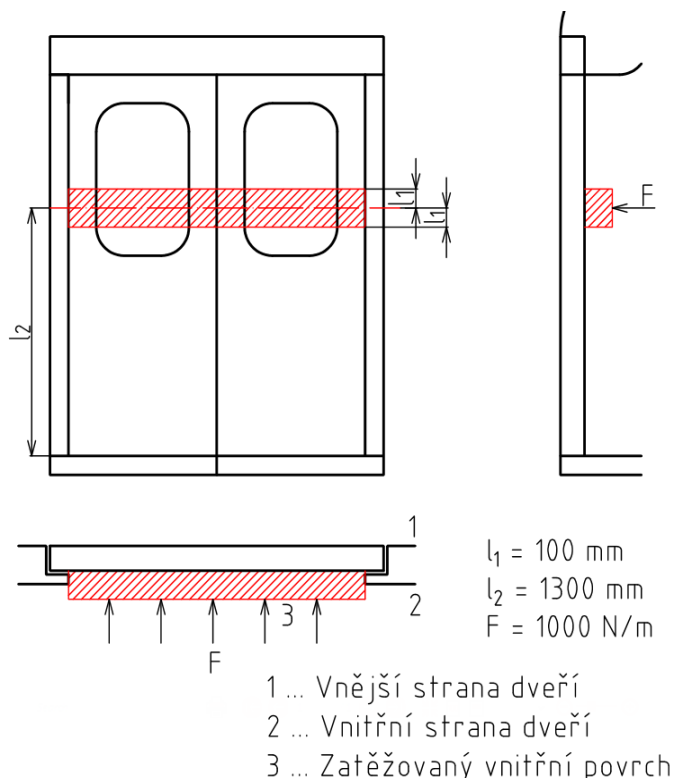


Obr. 46 Crash test VW [68]

v rozložení složitého geometrického objektu na konečné množství prvků (entit) s jednoduchou geometrií aproximujících jeho tvar. Následně jsou geometrickému popisu přiřazeny materiálové vlastnosti dané součásti. Po zatížení vnějšími silami působícími na jednotlivé geometrické útvary, lze tyto jednotlivé útvary popsat soustavou rovnic (pevnostní rovnice nebo rovnice popisující deformaci). Tyto rovnice jsou spočteny pro každou jednu entitu. Dveřní rám byl podroben při simulaci dvěma typům zatížení. Prvním bylo statické zatížení a druhým modální analýza.

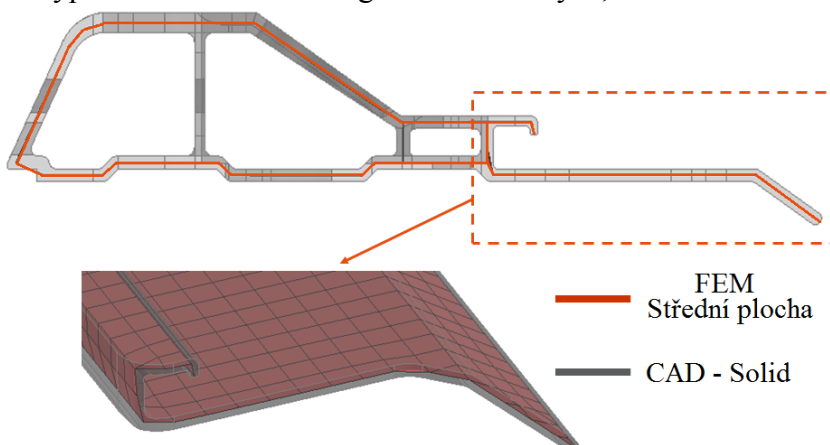
Statické zatížení, kterým byl dveřní rám zatěžován, je definováno normou ČSN EN 14752 (Železniční aplikace – Boční vstupní systémy kolejových vozidel). Kapitola 4 Konstrukční požadavky respektive 4.2.1.1 Náporové síly vyvolané cestujícími, obsahuje definici požadavků, které musí dveřní rám vydržet. Dveře musí odolat silám, ke kterým dochází při nalehnutí cestujících na dveřní křídla, bez vyvolání trvalé deformace nebo ztráty provozuschopnosti. Zavřené a zamknuté dveře, včetně zasklení, musí vydržet tlačnou sílu působící zevnitř vozidla na dveřní křídlo. Zatížení musí působit na pásu vysokém 200 mm, vymezením ve výšce  $l_2 = 1300$  mm nad dveřním prahem. Hodnota této síly je 1000 N na délkový metr po šířce zatěžovaného vnitřního povrchu dveří. Viz obrázek 47.

Druhým typem zatížení byla modální analýza, jenž je jednou z nejčastěji používaných numerických analýz pro zjištění dynamického chování konstrukce. Prováděním modální analýzy se snažíme popsat vlastnosti zkoumané soustavy na základě měřené odezvy na známé buzení. Po vybuzení soustavy určitým typem signálu, který musí být přesně definován, dojde k odezvě zkoumané soustavy. Dynamické chování vybuzené soustavy můžeme rozložit na jednotlivé samostatné a nezávislé pohyby, kterým se říká vibrační módy, respektive vlastní tvary kmitů. Každý mód je dán výchylkami a uzlovými liniemi. Body, náležící uzlové linii, jsou v klidu (mají nulovou výchylku) a jejich počet je při dané frekvenci konečný. Ke změně tvaru módu i počtu uzlových linií dochází při změně frekvence kmitání. Mód lze popsat tzv. modálními parametry, mezi které se řadí: vlastní frekvence, tvar vlastního kmitu, tlumení daného módu a modální hmotnost a tuhost. Podstatou této metody je rozklad složitého dynamického pohybu součásti na jednotlivé módy, které představují na reálné soustavě pohyby (ohyb, krut) namáhající konstrukci. Díky jejich přesné identifikaci lze konstrukci soustavy upravit tak, aby splňovala potřebné parametry.



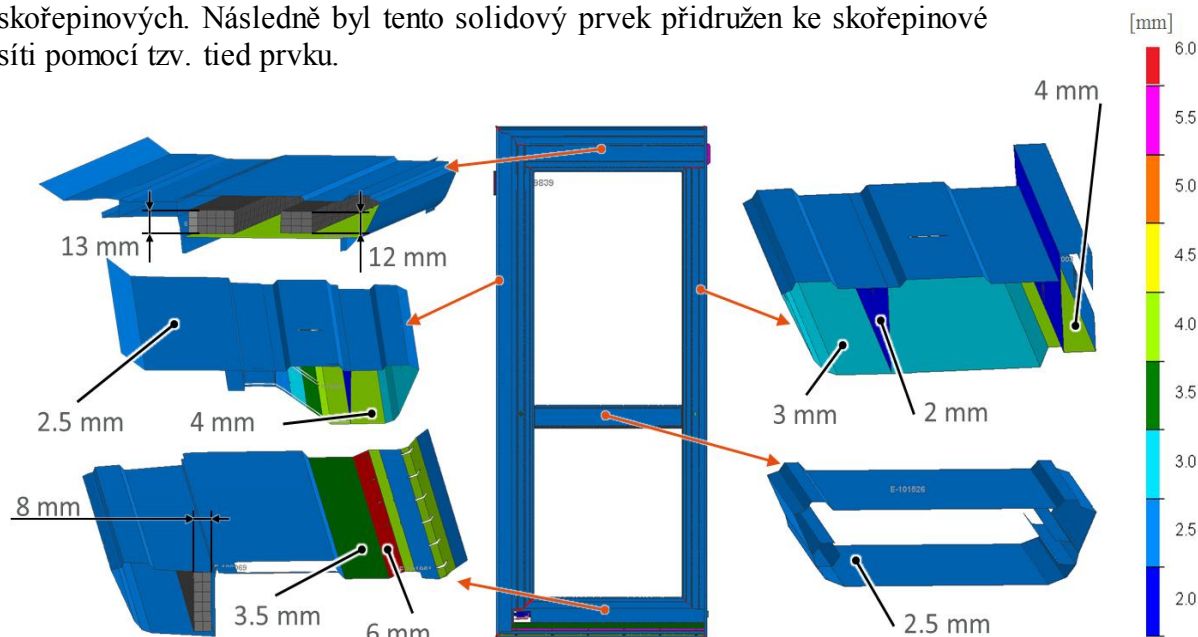
Obr. 47 Lokace zatížení dle ČSN EN 14752 [71]

Konečně prvkový model byl vytvořen pomocí skořepinových prvků (SHELL) na střednici CAD dat (obr. 48) dodaných firmou IFE CR. Vstupem pro software VPS byl tedy soubor ve formátu STL. Konstrukce dveřního rámu využívá hliníkových profilů s proměnou tloušťkou. Řezy jednotlivými profilem s barevným odlišením dle tloušťky v dané lokální oblasti zachycuje obrázek 49. Tyto proměnné tloušťky profilu jsou nutné z hlediska optimální pevnosti a snížení výsledné hmotnosti. Dále v určitých pozicích je profil vystaven dalším technologickým operacím jako je například vrtání, lepení či řezání závitu, kterému je z důvodu správné funkčnosti tloušťku profilu nutno přizpůsobit. Reprezentací modelu na střednicovou geometrii je do výpočtu vnášena určitá geometrická chyba, avšak z hlediska tvarové složitosti a zjednodušení výpočtu se jedná o klasický postup. Střednicová reprezentace je z pohledu výpočtu daleko efektivnější, než při sítování celého modelu objemovými prvky, kdy pro dosažení větší přesnosti by byl čas výpočtu nesrovnatelně vyšší. Pro upřesnění byla střednicová plocha



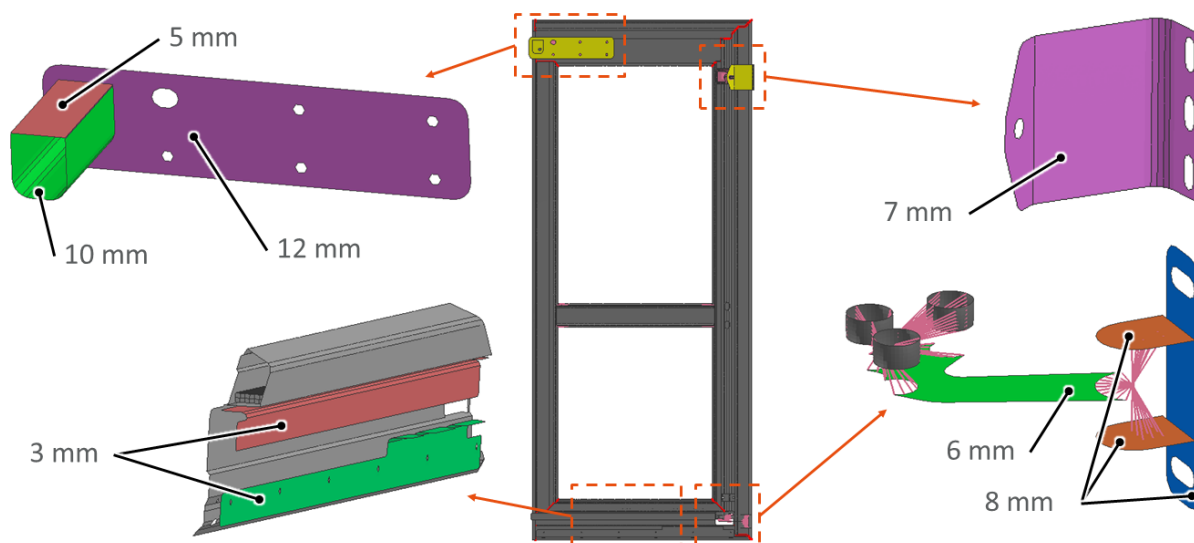
Obr. 48 Znáznornění střední plochy v CAD modelu [75]

rozdělena na části (tzv. party), které mají příslušnou tloušťku. Přiřazení tloušťky je tedy také určité zjednodušení oproti reálné geometrii, kdy jednotlivé tloušťky byly přiřazovány s tolerancí 0,5 mm se zachováním celkové hmotnosti rámu. V lokálních oblastech, kde tloušťka profilu přesahuje více jak 6 mm, bylo využito tzv. solidových prvků namísto skořepinových. Následně byl tento solidový prvek přidružen ke skořepinové síti pomocí tzv. tied prvku.



Obr. 49 Řezy jednotlivými profily s barevným odlišením dle tloušťky [75]

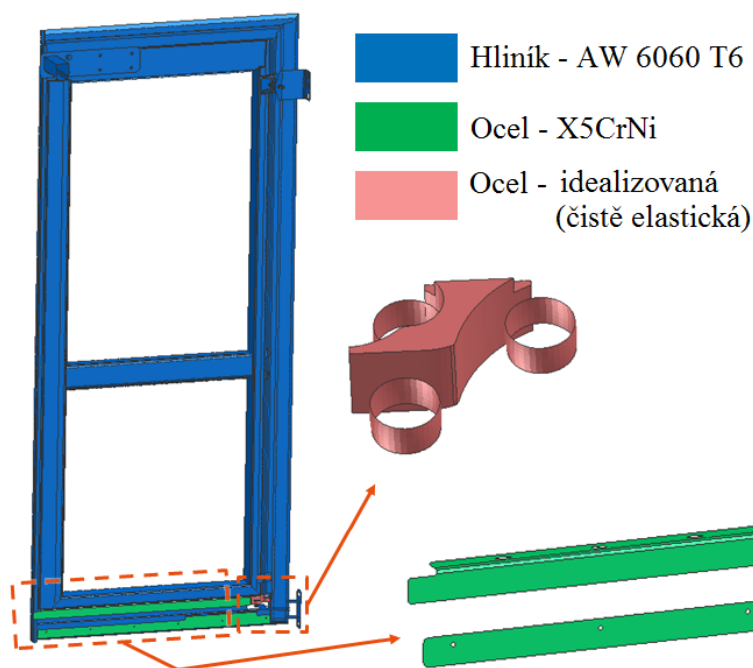
Montované díly (obr. 50) jako je uchycení, vodící kolejnice, dveřní rameno, mechanismus zavírání či dorazy dveřního rámu, byly také realizovány skořepinovou plochou nebo solidovým prvkem dle tloušťky. Zajištění těchto dílů je na reálné součásti realizováno pomocí šroubových spojů. Pro výpočet byly tyto spoje nahrazeny tuhým spojením, v softwaru VPS viditelné jako fialové paprsky.



Obr. 50 Montované díly a jejich spojení s dveřním rámem [75]

Materiálové zastoupení a jejich rozložení je na obrázku 51. Jak bylo již dříve řečeno, hlavní nosný rám je z hliníkové slitiny EN AW 6060, která je tepelně zpracována dle stavu T66. Při simulaci byly však zadány mechanické vlastnosti materiálu pro teplené zpracování dle T6. Pro výsledek simulace to ovšem nemá vliv, neboť je nutno brát v potaz, že při svaření

dojde k poklesu mechanickým vlastností vlivem rozpuštění precipitátů vzniklých při předchozím TZ. Je třeba si uvědomit, že mechanické vlastnosti budou daleko menší (viz zkouška tahem, tabulka 11) a vzhledem k možné deformaci pouze v elastické oblasti (dáno normou ČSN EN 14752) není nutno brát v zřetel zpevnění materiálu za mezi kluzu. Pokud



zatížení rámu překročí mez kluzu, je zkouška brána automaticky jako neúspěšná. Dalším materiálem vstupující do výpočtu byla ocel X5CrNi, jenž byla připsána vodící kolejnici a pro dveřní rameno idealizovaná ocel bez zadané meze kluzu. Je počítáno, že nebude dosaženo napětí o takové hodnotě, která by překročila v místě dveřního ramena mez kluzu.

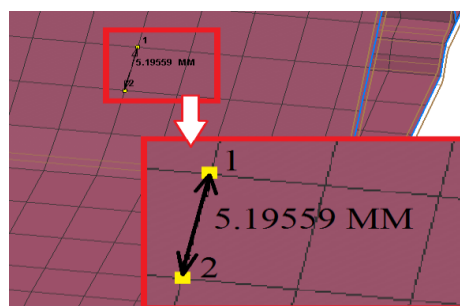
Obr. 51 Materiálové zastoupení modelu [75]

Vlastnosti materiálu je nutné zadat manuálně bez možnosti načtení mechanických vlastností z knihovny. Pro stanovení charakteristických vlastností příslušného materiálu byla použita aproximace statické zkoušky tahem dle Swift – Krupkowski. Zadány tedy byly tyto veličiny: hustota, Youngův modul, Poissonovo číslo, modul monotónního zpevnění, posunutí křivky zpevnění a exponent deformačního zpevnění (obr. 52).

	IDMAT	MATYP	RHO
MATER /	8306060	103	2.7E-6
BLANK	AUXID1	AUXID2	AUXID3
	0	0	0
TITLE			
NAME	Aluminium_AW_6060_T6_she		
E	sigmOPTN	NU	ALPHA
69.5	KRUPK	0.33	
k	EPSI0	n	SIGMAmax
0.2262	0.43465	0.493	0.

Obr. 52 Zadané materiálové veličiny

CAD model byl následně diskretizován, tedy vstupní model převedený na střednici byl rozdělen na soustavu prvků. Výsledkem této operace je rozdělení na konečný počet podoblastí – prvků (elementů), jenž oblast spojitě vyplňují. Vzniká tak síť (mesh) konečných prvků. Nasítování střednice bylo uskutečněno pomocí čtvercových elementů o průměrné velikosti 5 x 5 mm (obr. 53).

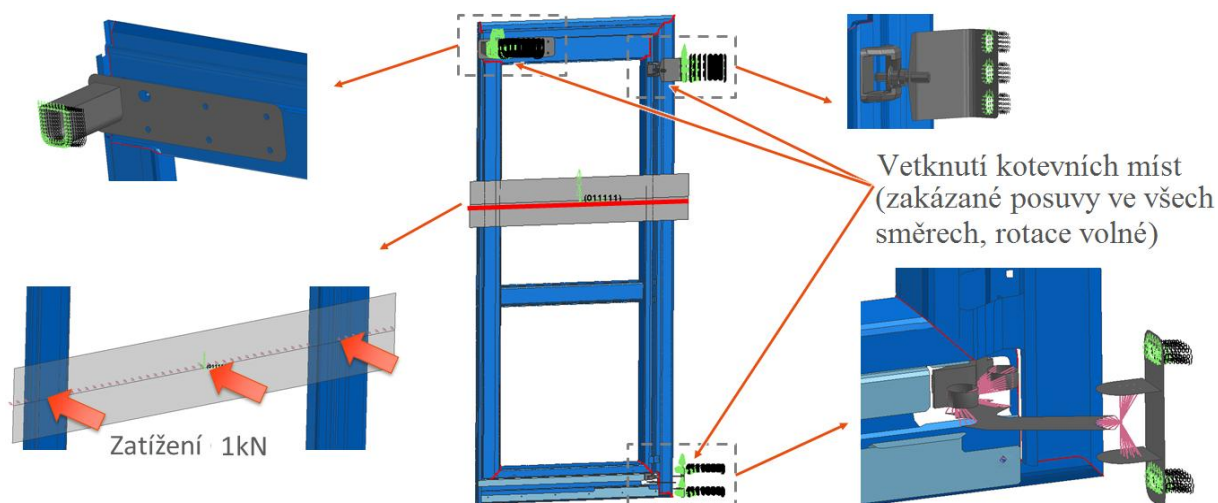


Obr. 53 Sít' (mesh)

Okrajové podmínky po konzultaci s firmou IFE byly voleny následovně (obr. 54). V pravém dolním rohu u dveřního ramena byla zvolena vazba vetknutí. Montážní otvory na rameni jsou spojeny se skeletem vagónu pomocí šroubového spojení. Z hlediska simulace dveří v zavřeném stavu, je tento mechanismus zjednodušený a šroubové spoje jsou modelovány jako ideálně tuhé. V pravém horním rohu je uložený bezpečnostní doraz, kterým je rolna uložená v pouzdru.

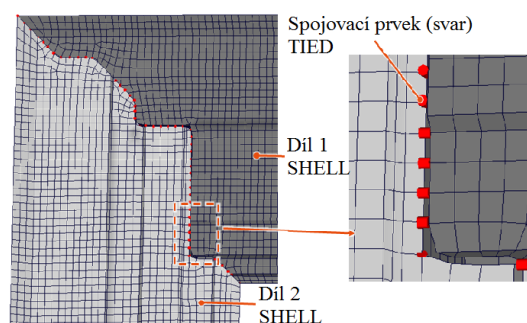


V zavřeném stavu je rolna zasunuta do pouzdra s určitou vůlí. Po zatížení dveřního rámu a dostatečnému prohnutí v místě rolly, dojde k vymezení vůle a dodatečnému zpevnění dveří se specifikací reálné tuhosti. Zeleně označené otvory jsou vetknuty s absolutní tuhostí. Posledním dílem je plech s přivařeným U – profilem, ke kterému je v reálném provozu přidělán lineární pohon pro otevírání/ zavírání dveří. U – profil je opět opatřen vazbou vetknutí v zeleně vyznačené oblasti. Zatížení, ve formě tuhé desky, o hodnotě 1 kN s přesným působištem a rozložením bylo definováno v odstavci o statické zkoušce. Desce z hlediska okrajových podmínek je umožněn pohyb pouze v normálovém směru vůči dveřím, v ostatních směrech se nehýbe.



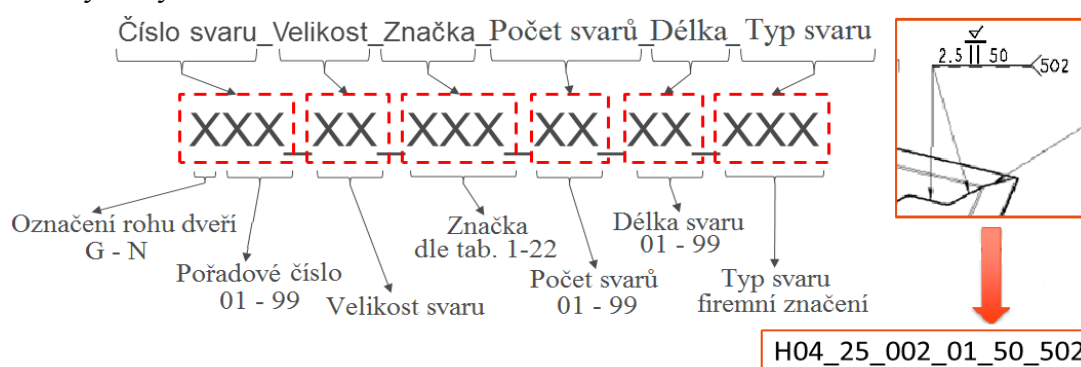
Obr. 54 Okrajové podmínky a zatížení [75]

K propojení jednotlivých profilů a napodobení svarů z reálné součásti byl využit spojovací prvek s označením TIED. Tied prvek funguje na principu vybrání dvou dílů, které jsou na obrázku 55 reprezentovány šedivou a tmavě šedivou barvou. Na jednom z těchto dvou dílů jsou vybrány jednotlivé body (uzly) kopírující trajektorii svaru, které se následně projektují na protější díl. Projekce probíhá automaticky a výsledkem je vytvoření 1D nosníků.



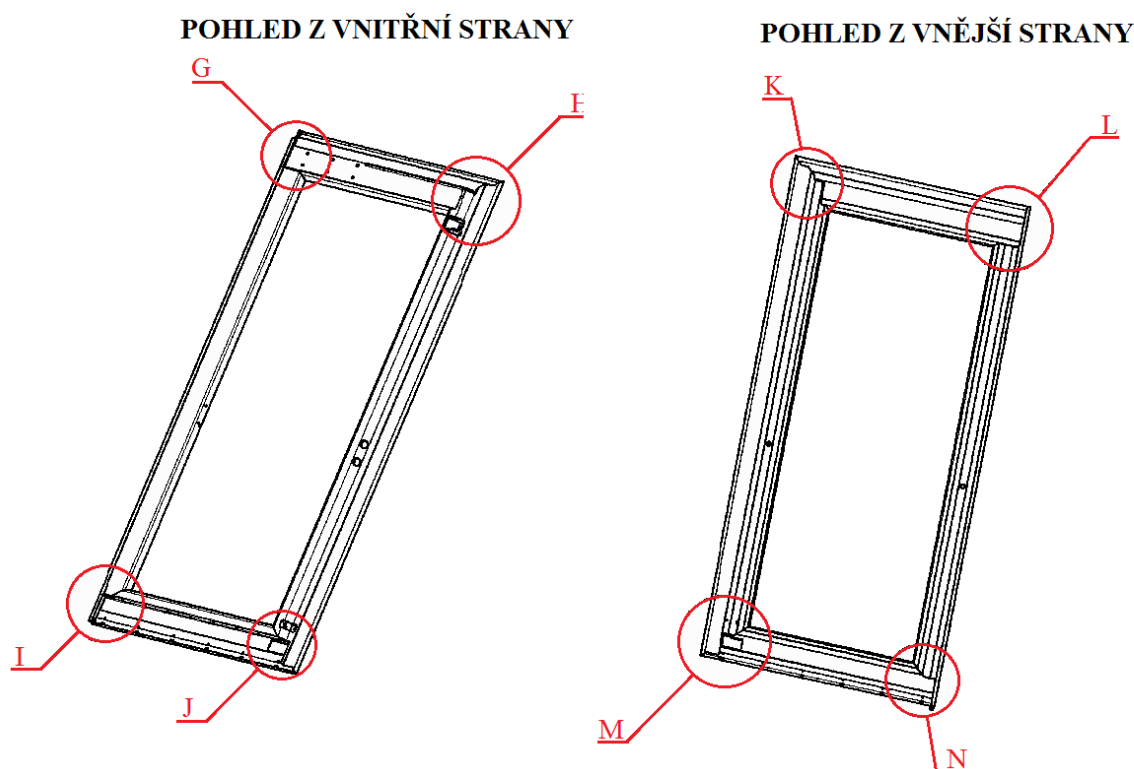
Obr. 55 Realizace propojení profilů [75]

Před provedením samotné redukce svarů bylo nutné svary označit. Samotné značení vychází z výkresu svarové sestavy (příloha 9), avšak jeho zápis musel být převeden do řádkového uspořádání, které daný software umožňuje. Obrázek 56 znázorňuje toto značení s jednotlivými vysvětlivkami.



Obr. 56 Značení svarů v softwaru VPS [75]

Prvotní rozdělení je tedy dle rohu dveří. Toto velmi usnadní následnou orientaci pozic svarů ve výkresu svařované sestavy (příloha 9). Celkově jsou dveře rozděleny na osm částí. Čtyři na straně vnitřní a čtyři na straně vnější. Pouze v těchto pozicích se svary nachází. Pro jednodušší pochopení slouží obrázek 57. Odvolání na tyto pozice bude použito i z hlediska umístění maximálního napětí, které je získáno ze simulace.



Obr. 57 Rozdělení pozic dvevního rámu [66]

Zadáním a jasnou definicí výše uvedených prvků se po provedení simulace získaly výsledky ze statického zatížení dle normy ČSN EN 14752 a také z modální analýzy. Výstupem ze zkoušky statického zatížení je kontura napětí vznikajícího působením zadaného zatížení a dále graf závislosti posunutí v šesti měřených místech v závislosti na čase. Maximální posunutí v příslušných bodech byly vyneseny do tabulky. Shrnutí výstupů ze simulace statického zatížení je na obrázku 58.

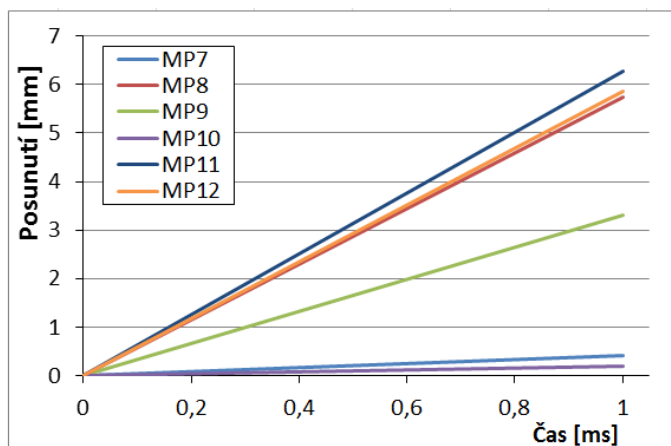
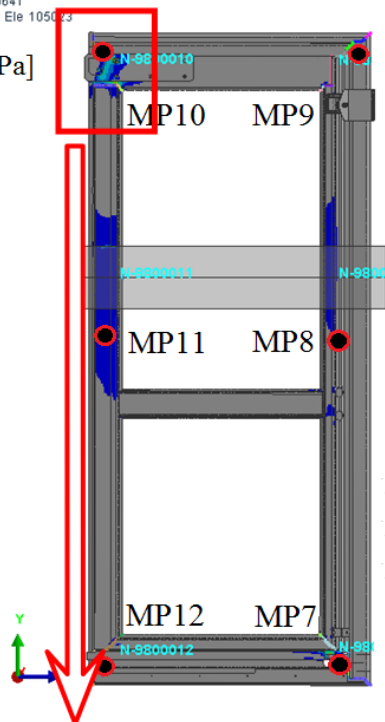
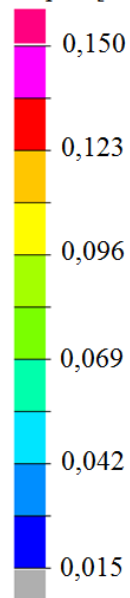
Modální analýzou bylo zkoumáno prvních 10 vlastních frekvencí dvevního rámu. Redukce svarů má vliv na jednotlivé vlastní frekvence. Nárůst vlastních frekvencí značí vyšší tuhost dané soustavy a naopak. V místech s malými posuvy (desetiny až setiny mm) lze získat pomocí modální analýzy přesnější zhodnocení, zda redukce svarů má vliv na tuhost rámu. Tabulka 12 zachycuje jednotlivé módy základního (neupraveného) dvevního rámu a jejich vlastní frekvence. Vlivem eliminace okrajových podmínek při tomto typu simulace je prvních šest vlastních frekvencí téměř nulových. To je dáno tím, že volné těleso má 6 stupňů volnosti.

Tab. 12 Výstupy ze simulace modální analýzy [75]

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frekvence [Hz]	0,006	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008	26,524	32,512	61,133	75,757

IFE\_GENUA\_010 - weld projection improved  
 SHELL: Stress Von Mises\*  
 Min = 0 at Ele 100641  
 Max = 0.240088 at Ele 105023

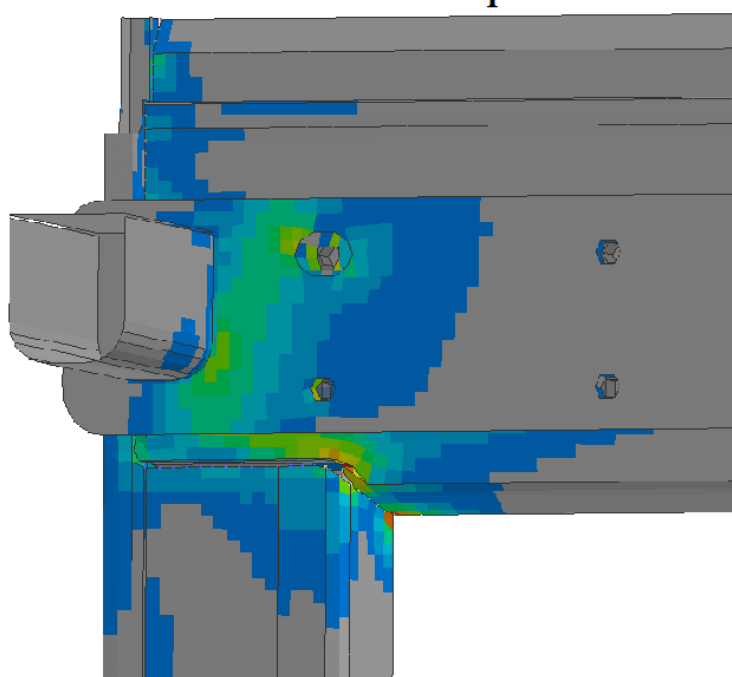
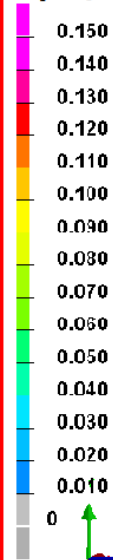
Napětí [GPa]



Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,40	5,75	3,30	0,19	6,27	5,86

IFE GENUA 011  
 SHELL: Stress von Mises  
 Min = 0 MPa  
 Max = 149,80 MPa

Napětí [GPa]



Obr. 58 Výstupu ze simulace statického zatížení [75]

## 2.1 Jednotlivé návrhy [66; 75]

Celkem bylo vypočítáno šest variant. Prvotně byla zadefinována varianta, která je v současné době svařována ve firmě IFE. Tato varianta sloužila jako základní a od ní se odvíjely ostatní varianty. Jedná se o tzv. báзовou variantu s kódovým označením 010. Tyto kódová označení zavedla firma MECAS a to především z hlediska jednodušší orientace. Následné navržené varianty toto kódové označení respektovaly. Shrnutí jednotlivých kódových označení a jejich význam je v tabulce 13.

Tab. 13 Kódové označení a popis jednotlivých variant

Kódové označení	Popis varianty
010	Bázová varianta + bez rolny
011	IFE varianta + bez rolny
012	Varianta vypuštění veškerých vnějších svarů (KLMN) + bez rolny
013	Bázová varianta + s rolnou
014	IFE varianta + s rolnou
015	Varianta vypuštění veškerých vnějších svarů (KLMN) + s rolnou

Druhá varianta (011), kterou firma MECAS vypočítala, vychází z informací firmy IFE. Celkem bylo vynecháno jedenáct svarů. Sedm svarů na vnitřní straně a zbylé čtyři na straně vnější. Svary G05\_a3\_001\_01\_40\_500 jsou ve výkresové dokumentaci dvakrát, stejně tak i svary L02\_T25\_009\_01\_35\_504. Součet délek všech redukovaných svarů je 286 mm. Redukce těchto svarů byla provedena pomocí „zakomentování“ řádků v softwaru VPS, u těch svarů, které měly být redukovány. Touto úpravou dojde k žádané redukci, ale zároveň lze kdykoliv bez nutnosti dopisování kódového označení vrátit daný svár odstraněním komentáře. Výčet redukovaných svarů ze softwaru VPS je zobrazen na obrázku 59. Pro lepší orientaci je v příloze 10 upravená výkresová dokumentace s označenými vynechanými svari.

\$ GRP 'G05\_a3\_001\_01\_40\_500'  
\$ GRP 'H01\_a3\_001\_01\_14\_500'  
\$ GRP 'H03\_25\_002\_01\_25\_502'  
\$ GRP 'H07\_25\_006\_01\_10\_501'  
\$ GRP 'I03\_25\_002\_01\_20\_502'  
\$ GRP 'J02\_25\_002\_01\_20\_502'  
\$ GRP 'K02\_25\_002\_01\_20\_502'  
\$ GRP 'K04\_25\_002\_01\_27\_502'  
\$ GRP 'L02\_Z25\_009\_01\_35\_504'

Obr. 59 Výčet redukovaných svarů u varianty 011 [75]

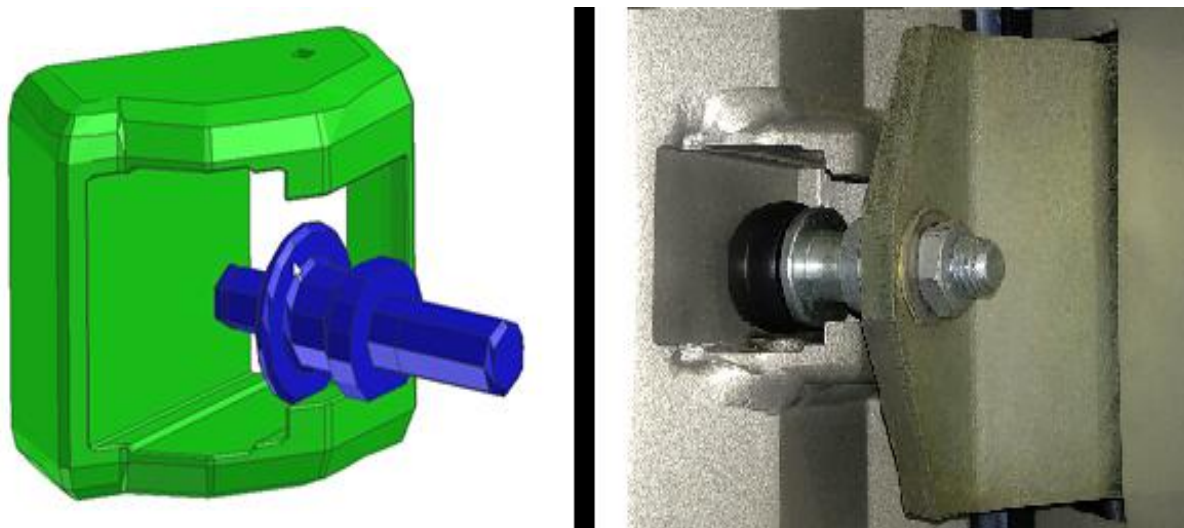
Varianta s kódovým označením 012 sloužila pouze jako zkušební se zjištěním vlivu absolutní redukce svarů na vnější straně dveřního rámu. Celkem by bylo odstraněno patnáct svarů z vnější části dveřního rámu. Svary L01\_25\_002\_01\_45\_502 jsou ve výkresové dokumentaci dvakrát, stejně tak i svary L02\_Z25\_009\_01\_35\_504. Výsledná součtová délka svarů je rovna 595 mm. Hlavní výhodou této varianty by byla zejména časová úspora, vzniklá odpadnutím nutnosti manipulace svařence při otáčení ze strany vnitřní na stranu vnější. Úspory z hlediska přídavného materiálu, ochranného plynu a spotřeby elektrické energie by ve srovnání s variantou 011 také vzrostly. Negativem se jeví mezery, které by z důvodů eliminace svařování zůstaly na vnější straně rámu. Jejich odstranění pomocí tmelení je složité a to z důvodu celkové úpravy dveřního rámu práškovým lakováním.

\$ GRP 'K01\_25\_002\_01\_20\_502'  
\$ GRP 'K02\_25\_002\_01\_20\_502'  
\$ GRP 'K03\_25\_009\_01\_65\_504'  
\$ GRP 'K04\_25\_002\_01\_27\_502'  
\$ GRP 'K05\_25\_002\_01\_33\_502'  
\$ GRP 'L01\_25\_002\_01\_45\_502'  
\$ GRP 'L02\_Z25\_009\_01\_35\_504'  
\$ GRP 'L03\_a3\_001\_01\_70\_500'  
\$ GRP 'L04\_a3\_001\_01\_30\_500'  
\$ GRP 'M01\_25\_002\_01\_65\_502'  
\$ GRP 'M02\_a3\_001\_01\_20\_500'  
\$ GRP 'N01\_25\_002\_01\_65\_502'  
\$ GRP 'N02\_a3\_006\_01\_20\_500'

Obr. 60 Výčet redukovaných svarů u varianty 012 [75]

Práškový lak se nanáší za vysoké teploty (160 – 200 °C), což by vedlo k znehodnocení tmelu. Výčet redukovaných svarů ze softwaru VPS je zobrazen na obrázku 60. Pro lepší orientaci je v příloze 11 upravená výkresová dokumentace s označenými vynechanými svary.

Po odsimulování variant s kódovým označením 010 – 012 byla zjištěna odchylka z hlediska konstrukce na reálném dveřním rámu vůči simulovanému. Samotná simulace nezahrnovala bezpečnostní doraz (dále jen „rolna“), (obr. 61). Pro větší přesnost byl simulační model upraven a doplněn o tento bezpečnostní prvek. Následoval přepočítání bazové varianty opatřené rolnou. Kódové označení této varianty je 013. Výsledek maximálního napětí na profilech z hliníkové slitiny se snížil o více jak 30 MPa (111,64 MPa – var. 010 x 79,75 MPa – var. 013). Takto velký rozdíl vedl k přepočtu zbývajících variant s doplněním o rolnu.



Obr. 61 Bezpečnostní doraz (rolna) [75]

Varianta 014 odpovídá z hlediska redukce svarů variantě 011, jen je opatřena rolnou. U varianty 015 je postup stejný, tedy redukce svarů je brána z varianty 012, avšak je také opatřena rolnou.

### 2.1.1. Výsledky vypočtených variant [75]

Níže jsou uvedeny výsledky vypočtených variant. Pro každou variantu je uvedeno maximální napětí, lokace maximálního napětí, rozdíl maximálního napětí získaného simulací vůči zjištěné smluvní meze kluzu z tahové zkoušky, posuvy v měřících bodech a kontura napětí v nejvíce zatížené oblasti. Mezní hodnota je brána ze vzorku 1, tedy 108,31 MPa. Uvedená maximální napětí jsou vždy vztažena pouze na svařované profily ze slitiny hliníku EN AW 6060 T66. Měřící body odpovídají pozicím zobrazenými na obrázku 58. Uvedeny jsou i módy získané z modální analýzy. Tyto frekvence se získají bez zavazbení rámu dveří a tudíž je prvních šest frekvencí nulových (nejsou uvedeny). Také rolna nemá vliv na tyto frekvence, právě z důvodu její ignorace z hlediska vazby. Módy sedm, osm, devět a deset budou tedy u variant s rolnou a bez rolnoy totožné. Nakonec následuje zhodnocení dané varianty z hlediska dosaženého napětí a vhodnosti pro zařazení do výroby.

Kapitola je uzavřena celkovým zhodnocením všech variant řešení, které byly navrženy a vypočítány. Vybrána bude ta, která se jeví z hlediska výpočtu a reálného použití nejvhodněji. Při vyhodnocení je nutné brát v potaz, že se jedná pouze o simulaci a daný návrh je nutné poté otestovat na reálné stolici, aby bylo možno daný návrh bezpečně pustit do výroby.



- Varianta s kódovým označením 010

Tab. 14 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 010

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,40	5,75	3,30	0,19	6,27	5,86

Tab. 15 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 010

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Odchylka od mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
010	111,64	108,31	-3,33	G

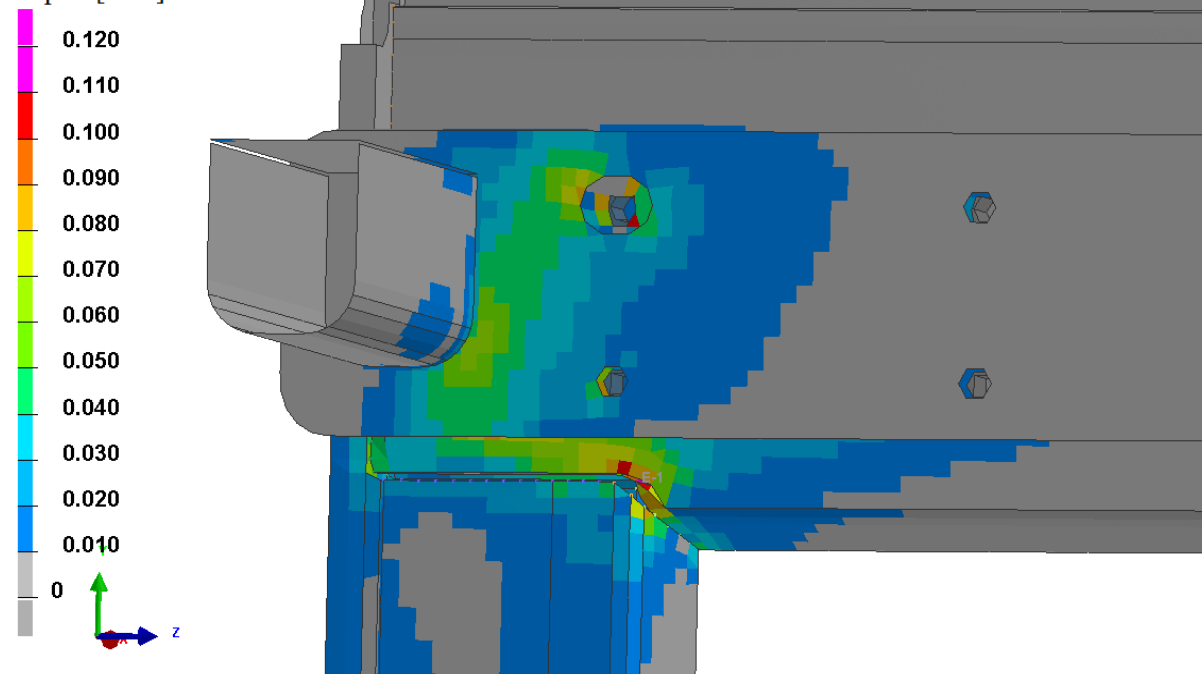
IFE\_GENUA\_010

SHELL: Stress von Mises

Min = 0 MPa

Max = 111,64 MPa

Napětí [GPa]



Obr. 62 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 010

Tab. 16 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 010

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,006	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008	26,524	32,512	61,133	75,757

Výsledek této simulace nelze brát za úspěšný. Mezní hodnota napětí byla překročena o 3,33 MPa. Maximální posunutí je rovno 6,27 mm v měřicím bodě MP11. Jedná se o bazovou variantu, avšak není opatřena bezpečnostním prvem (rolnou), tudíž přesně neodpovídá reálnému rámu. Z tohoto důvodu nelze brát z pohledu simulace i reálný rám jako nevyhovující.

- Varianta s kódovým označením 011

Tab. 17 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 011

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,41	5,76	3,33	0,19	6,29	5,88

Tab. 18 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 011

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Rezerva do mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
011	111,99	108,31	-3,68	G

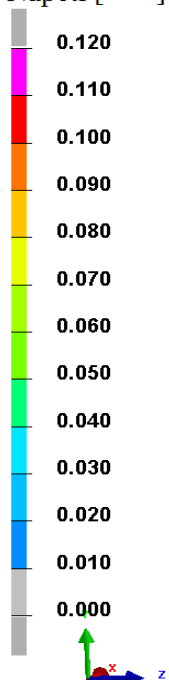
IFE\_GENUA\_011

SHELL: Stress von Mises

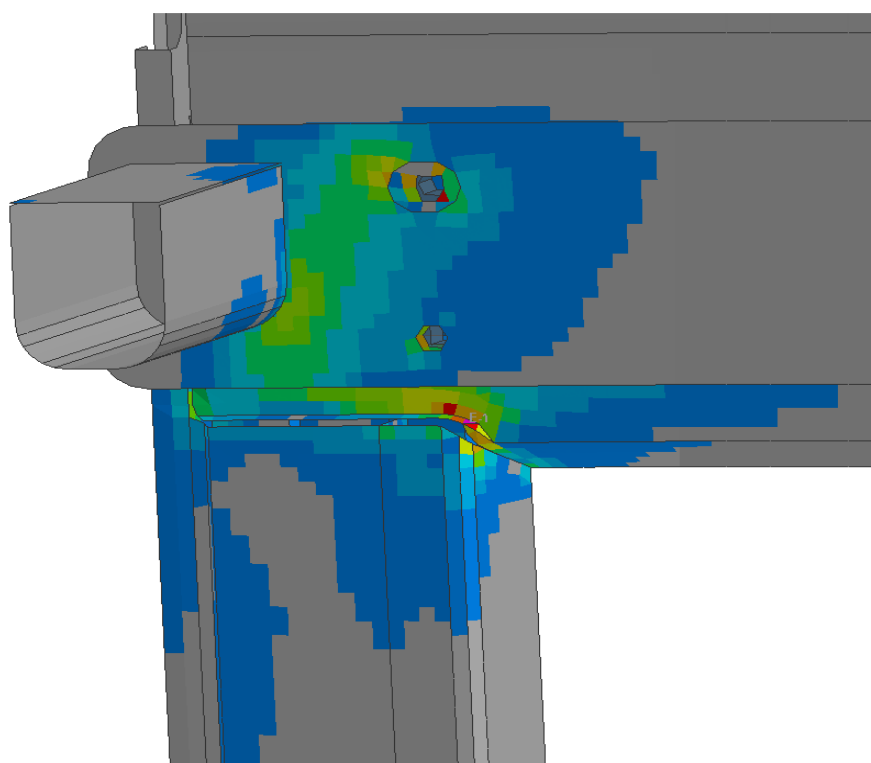
Min = 0 MPa

Max = 111,99 MPa

Napětí [GPa]



Lokace max. napětí = G



Obr. 63 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 011

Tab. 19 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 011

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,011	0,007	0,006	0,005	0,001	0,005	26,459	32,499	61,036	75,748

I tato varianta překračuje hodnotu mezního napětí. Nárůst napětí oproti variantě 010 je velmi malý, konkrétně o 0,35 MPa. I přes výsledek simulace, jenž z hlediska napětí nelze brát za úspěšný, je zde právě z důvodu malého nárůstu napětí oproti přechozí variantě vize možného využití. Stále se jedná o simulaci, která nezahrnuje rolnu, ale právě doplnění této varianty o zmíněný bezpečnostní prvek, by mohlo vést k úspěšnému výpočtu. Změny v posunutích v měřicích bodech jsou minimální, kdy největší nárůst oproti variantě 010 je v měřicím bodě MP9 a činí 0,03 mm.

- Varianta s kódovým označením 012

Tab. 20 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 012

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,43	6,13	3,86	0,21	6,69	6,46

Tab. 21 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 012

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Rezerva do mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
012	149,80	108,31	-41,49	G

IFE\_GENUA\_011

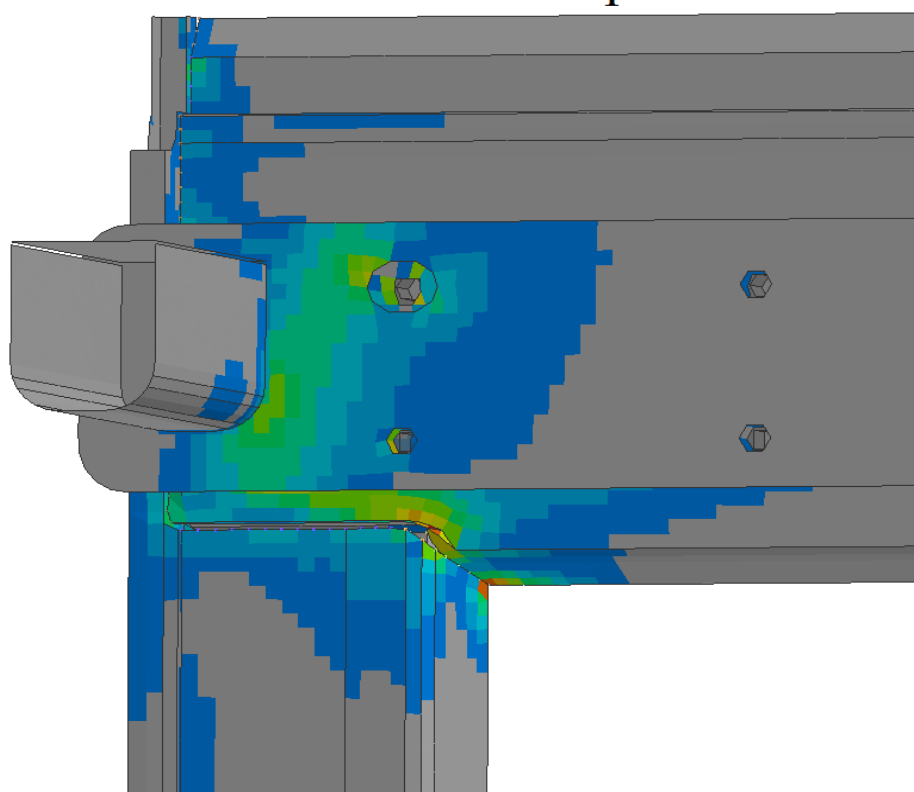
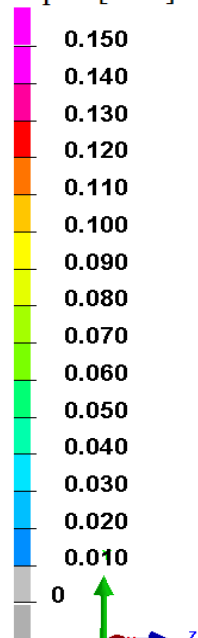
SHELL: Stress von Mises

Min = 0 MPa

Max = 149,80 MPa

Lokace max. napětí = G

Napětí [GPa]



Obr. 64 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 012

Tab. 22 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 012

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,006	0,006	0,004	0,002	0,005	0,008	25,274	32,312	59,032	75,450

Tato varianta redukce svarů se již nyní zdá nevhodná. Nárůst maximálního napětí oproti předchozím variantám je značný. Zároveň samotný výsledek ze statického zatížení, kdy maximální hodnota napětí je rovna 149,80 MPa říká, že tato varianta i při doplnění o bezpečnostní prvek nemusí splnit hraniční hodnoty mezního napětí. Při srovnání posunutí v měřicím bodě MP12 s bází variantou a s tentýž měřicím bodem, je nárůst posunutí 0,6 mm. Vlastní frekvence jsou ve srovnání s předchozími varianty taktéž nižší a pokles je daleko větší, což také značí snížení pevnosti rámu dveří.



- Varianta s kódovým označením 013

Tab. 23 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 013

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,40	4,74	0,58	0,06	4,97	4,81

Tab. 24 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 013

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Rezerva do mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
013	79,75	108,31	28,56	G

IFE\_GENUA\_013

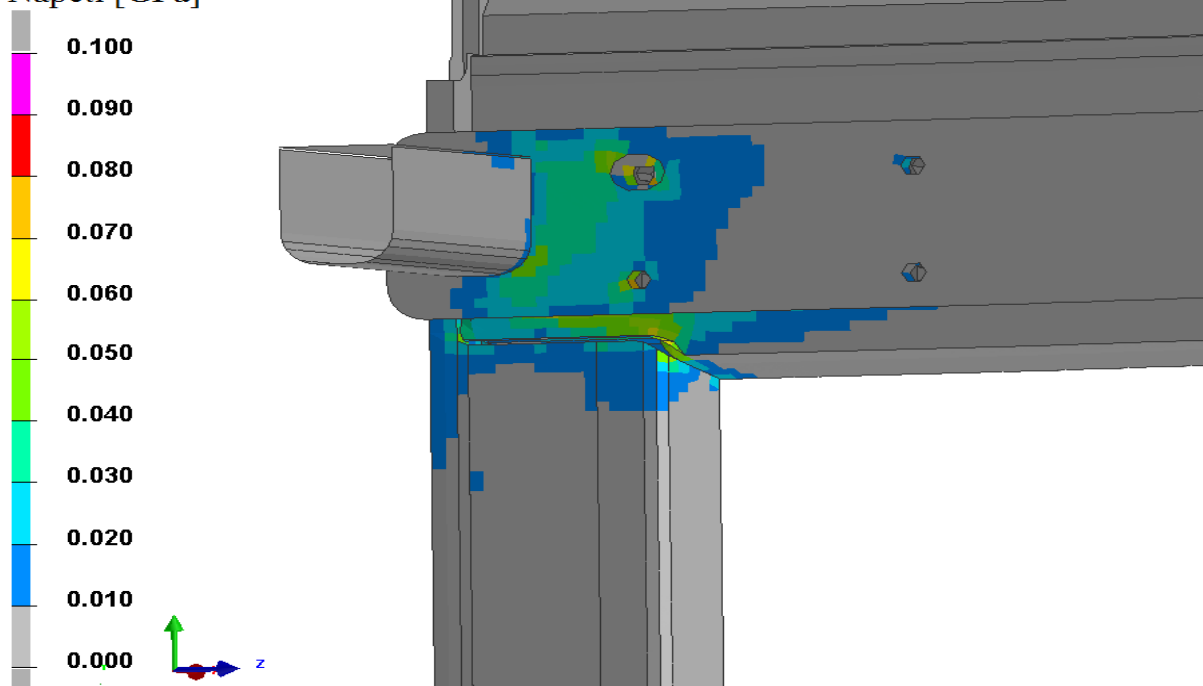
SHELL: Stress von Mises

Min = 0 MPa

Max = 79,75 MPa

Lokace max. napětí = G

Napětí [GPa]



Obr. 65 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 013

Tab. 25 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 013

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,006	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008	26,524	32,512	61,133	75,757

Tato varianta je bazová tedy jako varianta 010, ale navíc je opatřena rolnou. Výsledek ze simulace jasně ukazuje, že je nutno s tímto prvkem počítat. Pokles maximálního napětí oproti bazové variantě bez rolly je 31,89 MPa. Taktéž maximální posunutí v měřicích bodech velmi kleslo. Především v měřicím bodě MP9, kdy pokles vůči variantě 010 činí 2,72 mm. Tento fakt je dán tím, že měřicí bod MP9 leží v těsné blízkosti uložení rolly.

- Varianta s kódovým označením 014

Tab. 26 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 014

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,40	4,75	0,59	0,06	4,98	4,82

Tab. 27 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 014

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Rezerva do mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
014	78,69	108,31	29,62	G

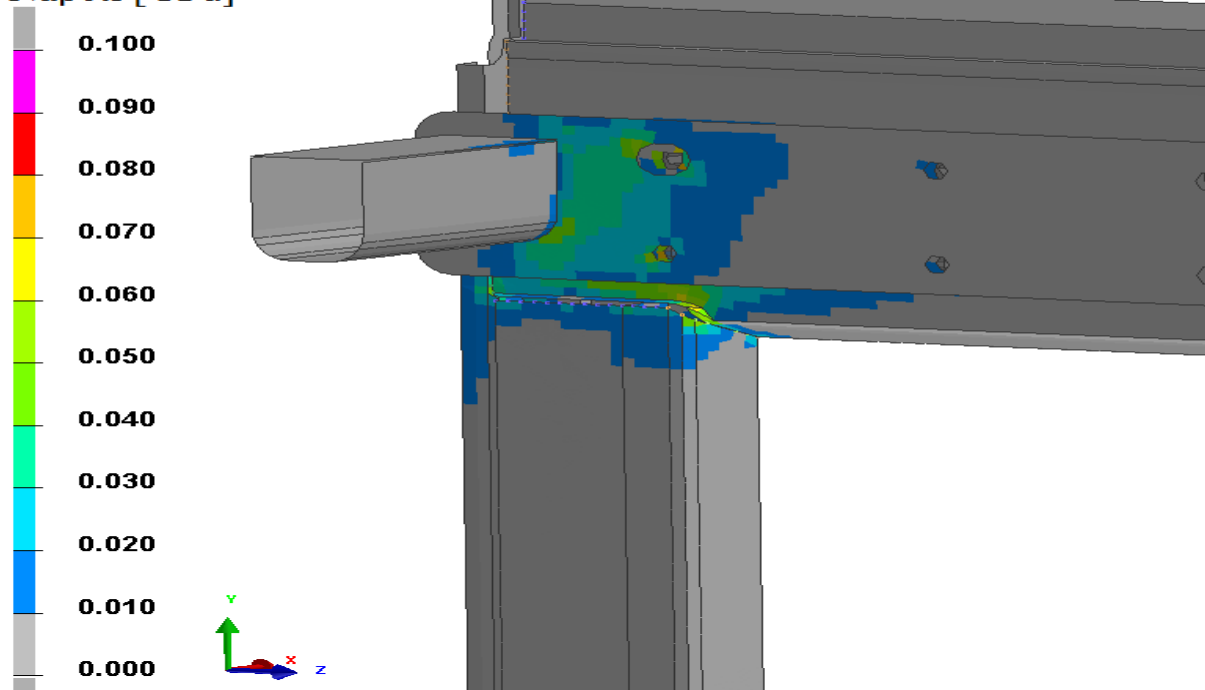
IFE\_GENUA\_014

SHELL: Stress von Mises

Min = 0 MPa

Max = 78,69 MPa

Napětí [GPa]



Obr. 66 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 014

Tab. 28 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 014

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,011	0,007	0,006	0,005	0,001	0,005	26,459	32,499	61,036	75,748

Varianta 014 je taktéž na rozdíl od varianty 011 doplněna rolnou, a pokud srovnáme maximální napětí obou variant, tak došlo ke snížení o 33,3 MPa ve prospěch varianty 014. Dále je zajímavé, že i po redukci svarů oproti variantě 013, je maximální napětí nižší o 1,06 MPa. Tento jev lze vysvětlit tím, že rozdíl 1,06 MPa je v rámci numerické simulace zanedbatelný. Také nelze vyloučit, že lokálně bude toto napětí menší u varianty 014, neboť program vůbec neuvažuje tepelné ovlivnění způsobené svařováním. Nárůst posunutí v měřicích bodech oproti předchozí variantě je minimální.

- Varianta s kódovým označením 015

Tab. 29 Hodnoty posunutí v měřicích bodech varianty 015

Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
Posunutí [mm]	0,42	4,92	0,67	0,07	5,17	5,17

Tab. 30 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 015

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Rezerva do mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
015	146,54	108,31	-38,23	L

IFE\_GENUA\_015

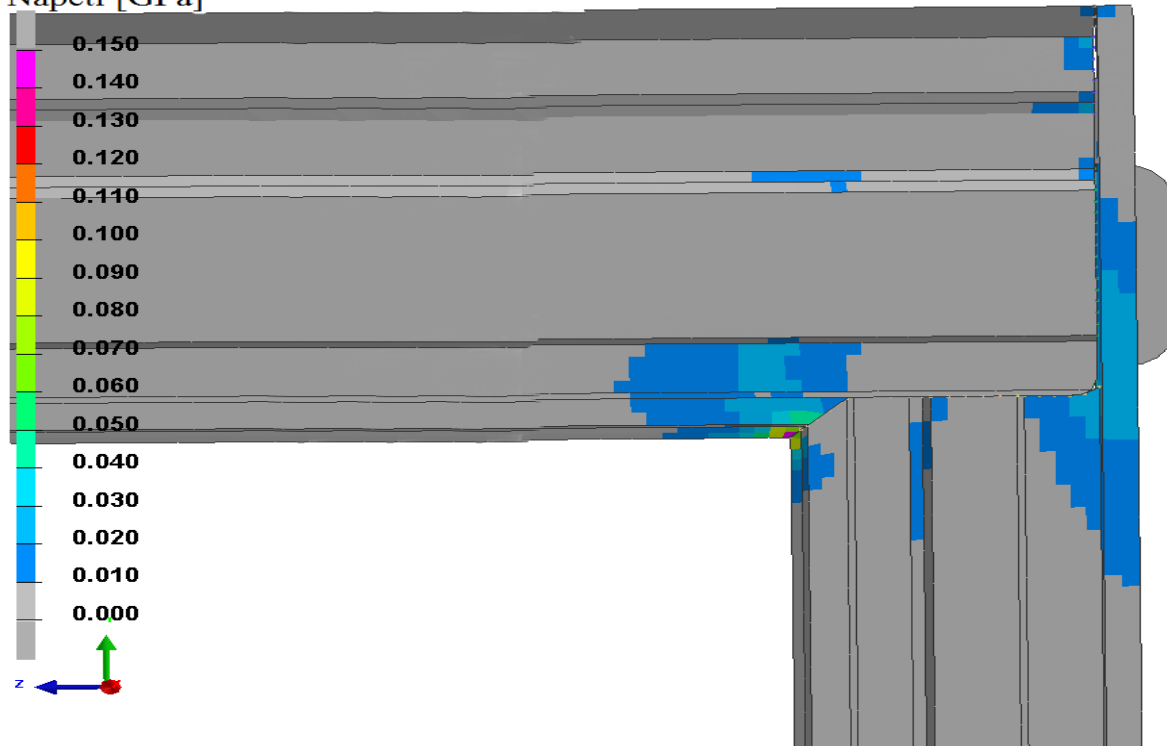
SHELL: Stress von Mises

Min = 0 MPa

Max = 146,54 MPa

Lokace max. napětí = L

Napětí [GPa]



Obr. 67 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 015

Tab. 31 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 015

Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vlastní frek. [Hz]	0,006	0,006	0,004	0,002	0,005	0,008	25,274	32,312	59,032	75,450

Poslední varianta dopadla neúspěšně. Redukce na úrovni vynechání všech vnějších svarů je tedy nemyslitelná. Mezní hodnota byla překročena o 38,23 MPa. Překročení o takové velikosti jasně naznačuje, že použití na reálném rámu dveří je nemožné. Zajímavý je také fakt, že poloha maximálního napětí se posunula z vnitřní strany a rohu G na vnější stranu a roh L. Posunutí v měřicích bodech oproti ostatním variantám s rolnou samozřejmě narostlo.

Z výše uvedených výstupných hodnot simulace je jasné patrné, že dostatečné pevnosti dřevního rámu je dosaženo pouze u variant s kódovým označením 013 a 014. Varianta 013 je momentálně využívaná a svařovaná ve firmě IFE. Simulace tedy potvrdila její dostatečné kvality. U této varianty je rezerva do mezního napětí rovna 28,56 MPa. Tuto hodnotu lze považovat za dostatečnou, i pokud bereme do úvahy, že v průběhu definice simulačního modelu mohly vzniknout určité odchylky od reálné zatěžovací situace. Tuto variantu lze brát za úspěšnou, o čemž hovoří i momentální využívání bez případných reklamací ze strany zákazníka.

Varianta 014 (011) je nově navrhnutá a obsahuje redukci jedenácti svarů. Maximální napětí je rovno 78,69 MPa, tedy rezerva k meznímu stavu je 29,62 MPa. Stále se jedná o pouhou numerickou simulaci, u které mohou být výsledky oproti realitě částečně zkresleny, avšak z důvodů velké rezervy by daný návrh mohl být úspěšný.

Varianta 012 respektive 015 za úspěšnou zcela určitě brát nelze. Mezní hodnota maximálního napětí byla překročena o 38,23 MPa. Z hlediska úspory by se jednalo o nejlepší variantu, avšak už pouhá numerická simulace ukazuje, že tento návrh není rozhodně vhodný.

Veškeré výsledky z numerické simulace jsou shrnuty do tabulek 32,33 a 34. Varianta 014 je v každé tabulce tučně ohraničena, neboť je to varianta, která bude svařena s redukcí svarů, které jsou označeny v příloze 10.

Tab. 32 Shrnutí výsledky hodnot posunutí v měřících bodech všech variant

Varianta	Měřicí bod	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12
010	Posunutí [mm]	0,40	5,75	3,30	0,19	6,27	5,86
011		0,41	5,76	3,33	0,19	6,29	5,88
012		0,43	6,13	3,86	0,21	6,69	6,46
013		0,40	4,74	0,58	0,06	4,97	4,81
014		0,40	4,75	0,59	0,06	4,98	4,82
015		0,42	4,92	0,67	0,07	5,17	5,17

Tab. 33 Shrnutí výsledky hodnot ze simulace statického zatížení všech variant

Kódové označ. varianty	Max. napětí [MPa]	Mezní napětí [MPa]	Odchylka od mezního napětí [MPa]	Lokace max. napětí
010	111,64	108,31	-3,33	G
011	111,99		-3,68	G
012	149,80		-41,49	G
013	79,75		28,56	G
014	78,69		29,62	G
015	146,54		-38,23	L

Tab. 34 Shrnutí výsledky hodnot ze simulace modální analýzy všech variant

	Číslo módu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Var. 010 a 013	Vlastní frekvence [Hz]	0,006	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008	26,524	32,512	61,133	75,757
Var. 011 a 014		0,011	0,007	0,006	0,005	0,001	0,005	26,459	32,499	61,036	75,748
Var. 12 a 015		0,006	0,006	0,004	0,002	0,005	0,008	25,274	32,312	59,032	75,450



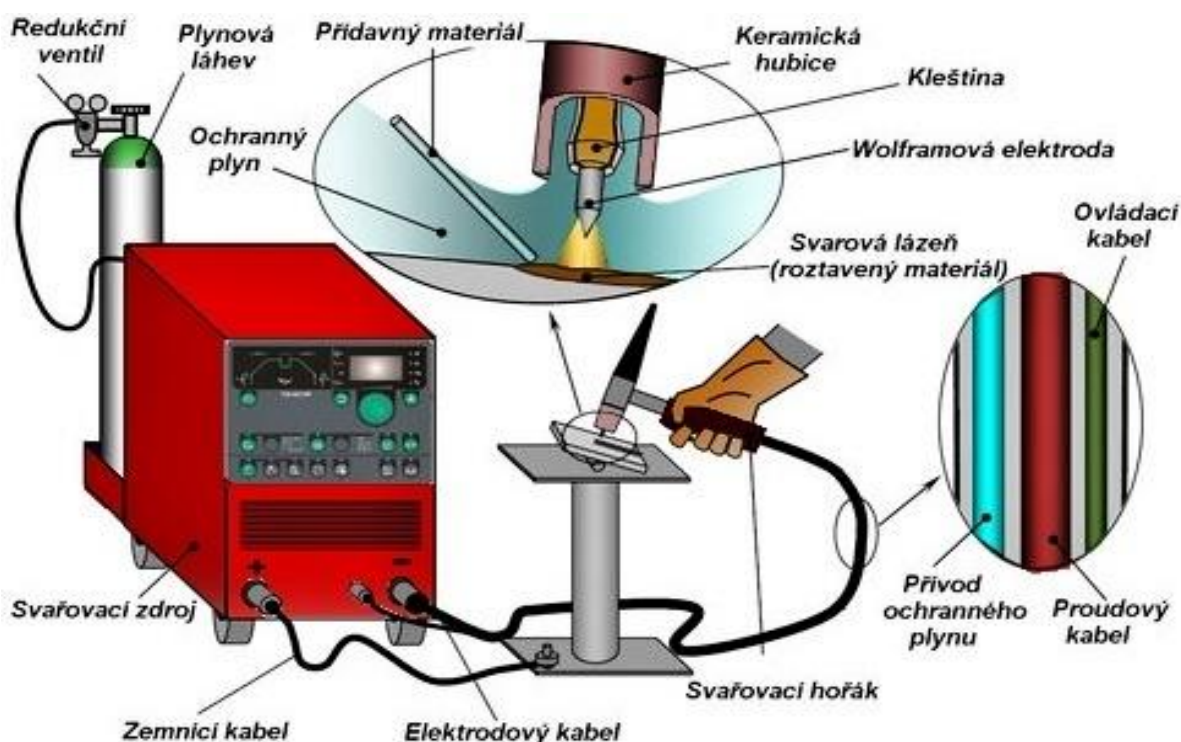
### 3 SVAŘENÍ DVEŘNÍHO RÁMU METODOU TIG

Nově navrhnutá varianta dveřního rámu na základě numerické simulace metodou konečných prvků bude svařena metodou TIG. Nejprve bude věnována pozornost samotné technologii TIG a popsány nejdůležitější prvky, které výslednou kvalitu svaru ovlivňují. Poté bude následovat popis a tvorba nutných opatření před započítím samotného svařování. K těmto opatřením patří především dokumenty označované jako WPS a WPQR. Závěr bude věnován samotnému svaření dvou dveřních ráků. Svařen bude nejprve dveřní rám dle varianty, kterou firma IFE momentálně využívá. Na tomto rámu budou změněny potřebné vstupní hodnoty pro technicko – ekonomické zhodnocení. Stejný postup bude aplikován na nově navrhnuté variantě dveřního rámu s redukovánými svary.

### 3.1 Svařování metodou TIG [25; 44; 78; 79; 80; 81]

Řešený projekt dveřního rámu je svařován pomocí metody TIG. Jedná se o anglickou zkratku slov Tungsten Inert Gas. Často je i označována jako metoda WIG, v tomto případě se jedná o zkratku německých slov Wolfram Inert Gas. V normě ČSN EN ISO 4063 (Svařování a příbuzné procesy – Přehled metody a jejich číslování) je tato metoda svařování označena trojčísly 141. Metoda spočívá na principu hoření elektrického oblouku mezi netavící se elektrodou a základním materiálem, kde svarová lázeň, elektroda i blízké okolí svaru je chráněno inertním plynem před účinky okolní atmosféry.

Obloukové svařování TIG vynalezl v roce 1941 Russell Meredith ze společnosti Northrop Aircraft jako způsob svařování slitin hliníku a hořčíku. Spojení těchto lehkých slitin bylo využíváno během druhé světové války při výrobě letadel. Následovala koupě práv na patent metody TIG od divize Linde Union Carbide, jež vyvinula různé konstrukce svařovacích hořáků vystupujících pod značkou Heliarc. Postupem času docházelo díky novým elektronickým součástem k vylepšování svařovacích zdrojů, které v dnešní době disponují nízkou hmotností a malými rozměry při zachování vysokého výkonu a výborné svařovací charakteristiky. Schéma svařování metodou TIG s popisem jednotlivých komponentů je na obrázku 68.

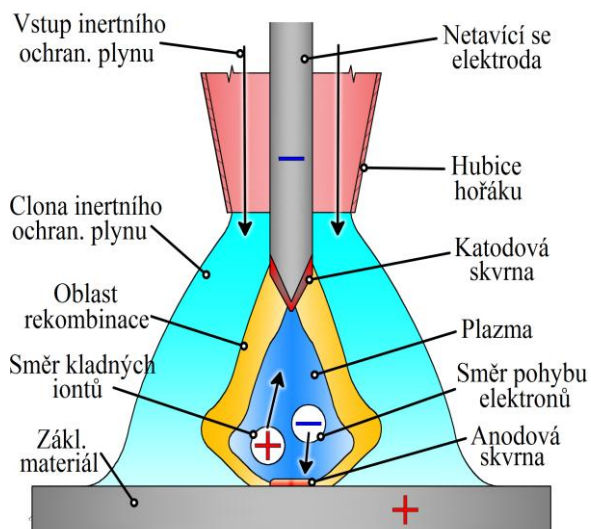


Obr. 68 Schéma svařování metodou TIG s popisem jednotlivých komponentů [81]

### 3.1.1. Elektrický oblouk, polarita a způsoby jeho zapálení [25; 44; 78; 79; 81; 82; 83; 84; 85; 86; 87]

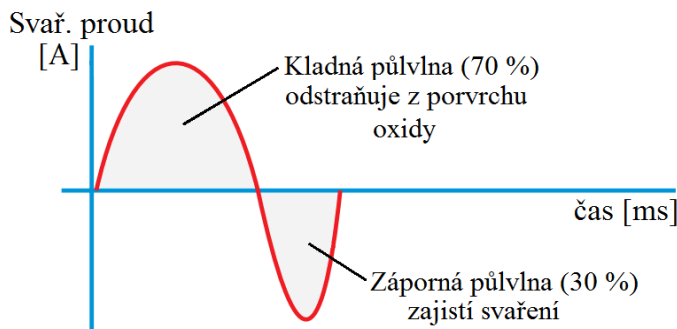
Jak již bylo řečeno, metoda TIG využívá k ohřátí svařovaného materiálu na teplotu tavení elektrického oblouku. Elektrický oblouk lze charakterizovat jako trvalý nízkonapěťový elektrický výboj, jenž hoří ve vodivém (ionizovaném) prostředí mezi katodou (- pól) a anodou (+ pól). Plyn je za normálních podmínek dobrým izolantem, neboť je tvořen elektricky

neutrálními molekulami. Při ionizaci však dochází k rozštěpení elektricky neutrálních molekul na kladné ionty a záporné elektrony a plyn se tak stává vodivým, což vede ke vzniku tzv. plazma. Prvotní elektrony jsou emitovány termoemisí v katodové skvrně a jsou důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony (primární) v oblasti katodového úbytku napětí, získají dostatečně velkou kinetickou energii pro „vyražení“ elektronu z neutrálních atomů a vznikají tak kladné ionty a sekundární elektrony. Teplota katodové skvrny leží v rozmezí teplot 2400 – 3000 °C a je ochlazována vlivem efektu termoemise elektronů. Na druhé straně oblouku se nachází anodová skvrna, jenž neutralizuje a odvádí dopadající záporné částice. Kinetická energie dopadajících částic se mění na teplo a částečně na elektromagnetické záření. Její teplota se pohybuje mezi teplotou 2700 – 3600 °C, je tedy vyšší než u katodové skvrny v důsledku intenzivnějšího uvolňování tepla při neutralizaci elektronů a přeměně kinetické energie elektronů na tepelnou. Pro stabilní elektrický oblouk je nutné zajistit napětí vyšší než je napětí ionizační daného prostředí a proudu dostatečném pro ionizaci plynu. Střed elektrického oblouku, který je tvořen plazmou, dosahuje teploty až 10 tisíc °C. Na vnějšku oblouku je teplota nižší a proto zde dochází ke slučování jednotlivých záporných a kladných iontů zpět na atomy. Tomuto jevu se říká rekombinace. Popis elektrického oblouku zachycuje obr. 69.

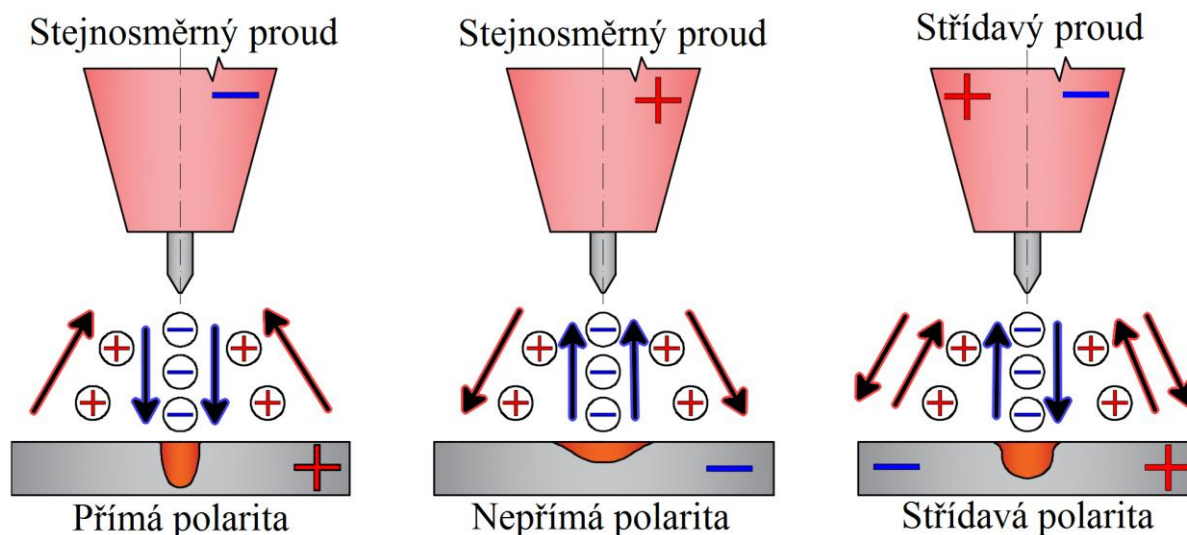


Obr. 69 Popis elektrického oblouku [25]

Velmi důležité je při svařování zvolit vhodnou polaritu základního materiálu. Typ této polarity mění tepelný účinek el. oblouku a tedy i tvar a rozměr svaru. Při přímé polaritě je elektroda zapojena na (-) pól a svar má větší hloubku průvaru, avšak malou šířku. Nepřímá polarita způsobuje menší hloubku průvaru a větší šířku svaru, jenž se využívá při svařování tenkých plechů. Elektroda je zapojena na (+) pól a je více tepelně namáhána. Při střídavém proudu, leží rozměry svaru mezi výše uvedenými. Hlavní výhodou svařování střídavým proudem je tzv. čistící účinek oblouku. Ten je důležitý právě při svařování hliníku, neboť kladná půlvlna „rozbíjí“ a odstraňuje vrstvu oxidů hliníku, zatímco záporná způsobí natavení hliníku a jeho svaření. Novější svářečky dokáží upravit délku jednotlivých půlvln tak, že lze zvýšit dobu čištění zaoxidovaného povrchu hliníku na úkor doby svařování. V tomto případě hovoříme o tzv. zvýšeném čistícím efektu svařovacího proudu (obr. 70). Vliv polarity na rozměr a tvar svaru zachycuje obrázek 71, tabulka 35 shrnuje jednotlivé výhody/ nevýhody různých polarit.



Obr. 70 Zvýšený čistící efekt svař. proudu [82]



Obr. 71 Vliv polarity na rozměr a tvar svaru [25]

Tab. 35 Výhody a nevýhody jednotlivých polarit [85]

Druh el. proud	Stejnoseměrný	Stejnoseměrný	Střídavý
Pól elektrody	Záporný	Kladný	Střídavý
Čistící efekt	Ne	Ano	Ano
Rozložení teploty	70 % základní materiál 30 % elektroda	30 % základní materiál 70 % elektroda	50 % základní materiál 50 % elektroda
Profil penetrace	Hluboký, úzký	Mělký, široký	Střední
Opotřebení elektrody	Malé	Velké	Střední

Samotné zapálení elektrického oblouku lze provést dvěma způsoby. Prvním způsobem je tzv. Lift - Arc Start neboli dotykové zapalování. Nejprve je nutné dotknout se elektrodou základního materiálu. Pomocí ručního ovládání na hořáku nebo nožního ovladače se sepe obvod a začne proudit ochranný plyn. Poté stačí elektrodu pomalu zvednout od základního materiálu a oblouk se zapálí. Výhodou je přesné umístění počátku svaru a malé elektromagnetické rušení oproti vysokofrekvenčnímu startu. Využití najde tak ve svařování v blízkosti citlivých elektronických zařízení či měřicí techniky.

Druhým způsobem je tzv. High Frequency Start neboli vysokofrekvenční start. Pomocí vykonávacího vysokofrekvenčního ionizátoru se zapálí na vzdálenost pár milimetrů elektrická jiskra, jež ionizuje plynné prostředí výbojem. Takto vzniknou ideální podmínky pro vedení elektrického proudu a zapálení elektrického oblouku. Výhodou toho způsobu je, že nezpůsobuje vznik wolframových vměstků ve svařové lázni a i opotřebení wolframové elektrody je minimalizováno.

### 3.1.2. Svařovací zdroje a statická charakteristika [25; 44; 78; 82; 84; 87; 88]

Elektrický proud pro svařování je do uzavřeného svařovacího obvodu dodáván pomocí svařovacího zdroje. Existují různé typy zdrojů, které vynikají v různých oblastech. Podle druhu svařovacího proudu je lze rozdělit na zdroje stejnosměrného, střídavého či usměrněného proudu. Další rozdělení je dle konstrukce a to na zdroje točivé (svařovací dynama) a zdroje netočivé (měniče, transformátory a svařovací usměrňovače). Dalším rozdělením svařovacích zdrojů je dle druhu statické charakteristiky a to na zdroje se strmou, plochou nebo polostrmou charakteristikou. Pro všechny druhy svařovacích zdrojů však platí určité požadavky, jejich krátký výčet je následující: bezpečnost provozu a konstrukce musí



splňovat normativní požadavky, statická charakteristika musí odpovídat dané technologii svařování, možnost regulace svařovacích parametrů, odolnost vůči chvilkovým zkratům a v neposlední řadě malá poruchovost, nízká cena a kvalitní servis.

K dnes již velmi zřídka využívaným zdrojům patří svařovací dynamo. Jedná se o točivé zdroje stejnosměrného proudu, vybavené elektrickým nebo spalovacím motorem, který pohání dynamo. V kombinaci se spalovacím motorem, lze tyto zdroje využít i na místech, kde není možnost připojení ke elektrické síti. Další výhodou je fakt, že nedochází ke kolísání svařovacího proudu, při krátkodobých změnách napětí v síti. Nevýhodou tohoto zdroje je velká hmotnost, hluchost a vlivem špatné účinnosti i velká spotřeba proudu.

Modernějším zdrojem jsou svařovací transformátory. Na rozdíl od svařovacích dynam se jedná o netočivé zdroje střídavého proudu. Princip přeměny síťového napětí na napětí svařovací je proveden, jak již název napovídá, pomocí transformátoru. Výhodou je téměř tichý chod, jednoduchá konstrukce, provozní spolehlivost a jednoduchá obsluha. K nevýhodám řadíme velkou hmotnost, nemožnost plynulé regulace svařovacího proudu bez možnosti dálkového ovládání.

Dalším krokem vpřed byly svařovací usměrňovače, kdy se opět jedná o netočivé stroje. Zdroj je opět vybaven transformátorem, který mění velikost vstupního střídavého napětí a proudu ze sítě na požadované hodnoty. Následně je za transformátor zařazen elektronicky řízený usměrňovací člen (středofrekvenční měnič), který mění střídavý průběh proudu na stejnosměrný.

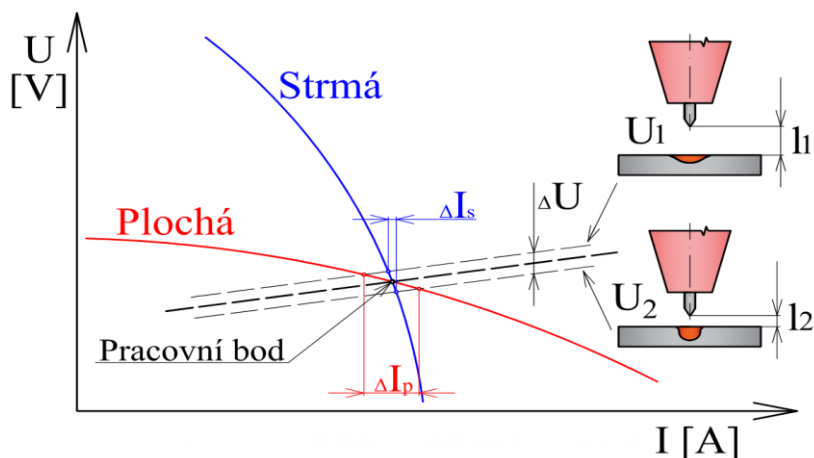
Posledním a nejmodernějším svařovacím zdrojem (obr. 72) jsou tzv. invertory. Jsou schopny z vstupního střídavého napětí vytvořit napětí o vysoké frekvenci až 100 kHz a to jak o stejnosměrném tak i střídavém průběhu. Využívají výkonnou elektroniku, díky které lze dosáhnout požadovaných svařovacích parametrů a zároveň minimalizovat rozměry a hmotnost tohoto zdroje. Při svařování hliníku jsou schopny pomocí mikroprocesoru vyhodnotit, na základě změřeného napětí elektrického oblouku, zda je povrch svařovací lázně pokryt oxidy hliníku a v jakém množství. Mikroprocesor pak danou informaci vyhodnotí a případně sám upraví potřebný poměr doby trvání kladné a záporné půlvlny. Tato funkce usnadňuje svářečský proces svařování, zvyšuje postupovou rychlost a snižuje energetickou náročnost pro svaření.



Obr. 72 Svařovací zdroj / invertor [82]

Důležitou vlastností každého zdroje, je jeho statická charakteristika, která je dána jeho elektrickou konstrukcí. Statická charakteristika udává závislost pracovního napětí a proudu na výstupních svorkách svářečky v ustáleném stavu. Průběh této charakteristiky se získá měřením napětí a proudu v el. obvodu svařovacího proudu, který obsahuje regulační zařízení. Koncový a počáteční bod charakteristiky zdroje se určí dle stavu naprázdno a nakrátko. Stav naprázdno je charakterizován nejvyšším napětím a nulovým proudem ve svařovacím obvodu. Stav nakrátko je stav, kdy je elektroda v kontaktu se základním materiálem, tedy svařovacím obvodem protéká nejvyšší proud (zkratový) a napětí na zdroji je téměř nulové. Průběh této charakteristiky může být: plochý, strmý nebo polostrmý. Plochý průběh (tvrdé zdroje) je vhodný pro automatizované metody, neboť malá změna napětí výrazně mění svařovací proud. Naopak strmý průběh (měkké zdroje) je vhodný pro ruční svařování, neboť změna délky oblouku má minimální vliv na změnu svařovacího proudu. Některé svařovací zdroje umí

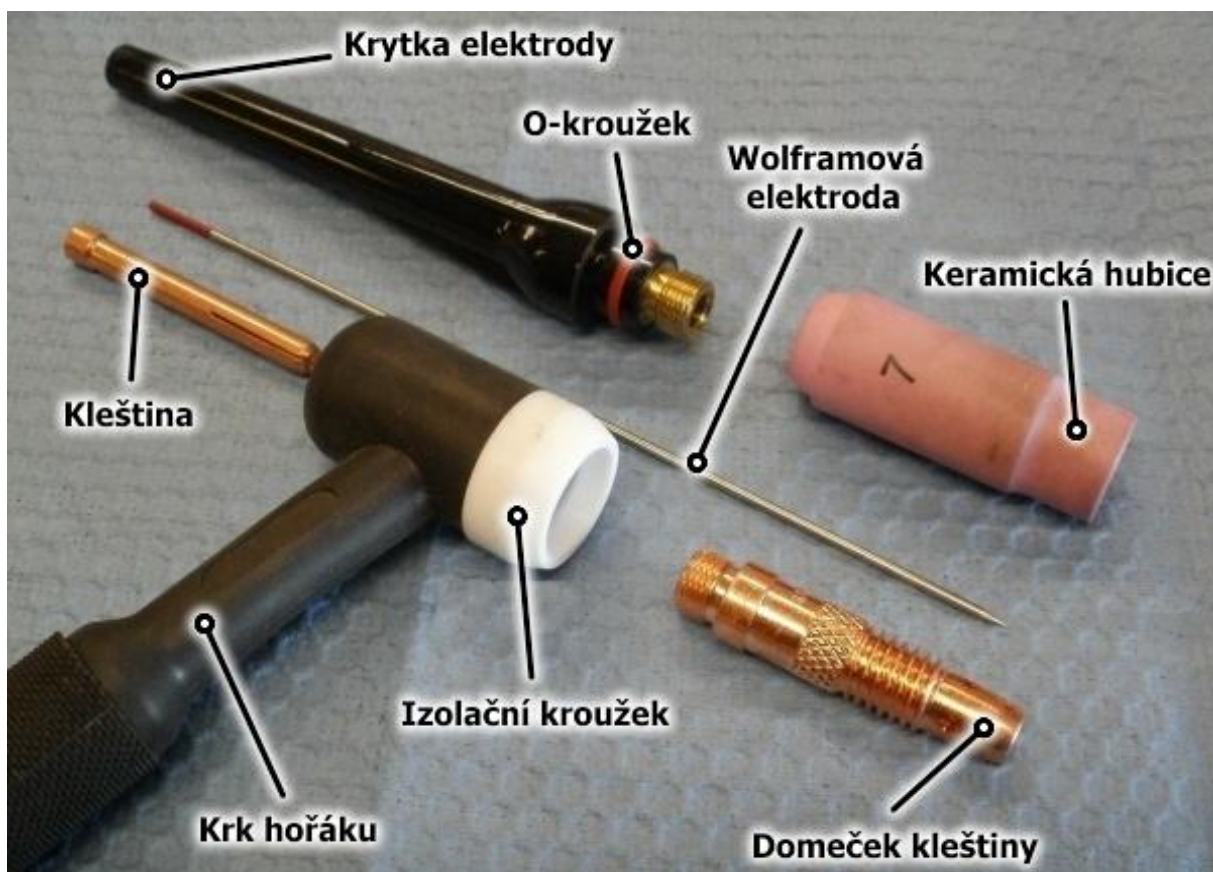
přepínat sklon statistické zatěžovací charakteristiky a to buď stupňovitě, nebo plynule. Obrázek 73 zobrazuje vliv strmé a ploché statické charakteristiky na kolísání proudu vyvolané změnou napětí na oblouku (změnou délky oblouku). Pracovní bod je dán průsečíky statické charakteristiky zdroje a oblouku.



Obr. 73 Vliv strmé a ploché charakteristiky na kolísání I [88]

### 3.1.3. Svařovací hořák, jeho složení a chlazení [25; 44; 78; 84; 89; 90; 91; 92; 93; 94]

K nejzatíženější části svařovacího zařízení patří svařovací hořák. K jeho úkolům patří přívod proudu na wolframovou elektrodu a její upnutí, přívod a usměrnění ochranného plynu, přívod a odvod chladicího média a spínání svařovacího zdroje. Wolframová elektroda je upnuta pomocí vyměnitelné kleštiny, přes kterou je vedeno napájení. Upnutí musí být pevné, aby byl snížen přechodový odpor mezi kleštinou a elektrodou na minimum. Sevření kleštiny je provedeno vtlačněním do kuželového otvoru domečku kleštiny pomocí manuálně šroubované krytky elektrody s vnějším závitem. Pro lepší usměrnění proudění ochranného plynu do místa svařování, je hořák vybaven keramickou hubicí. U hořáku chlazených proudícím plynem se jedná o hubice keramické, v případě vodou chlazených o měděné či pochromované. Díly, ze kterých se skládá svařovací hořák, jsou zobrazeny na obrázku 74.



Obr. 74 Díly svařovacího hořáku [89]



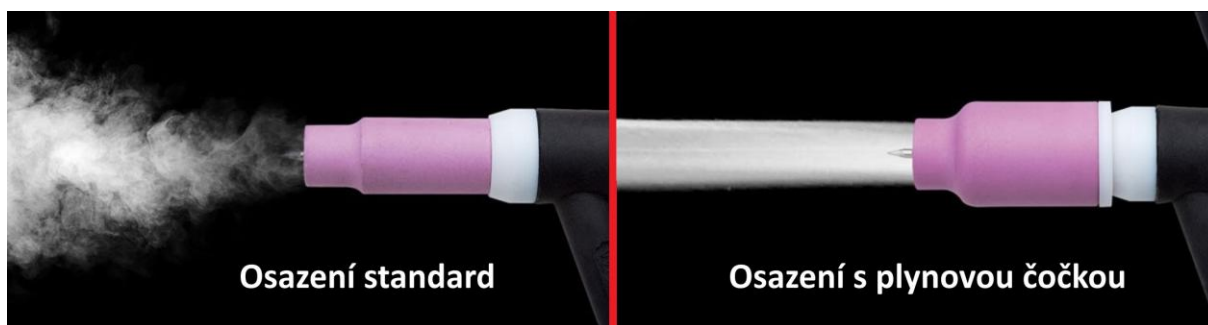
Klasické domečky kleštiny (obr. 75) mají většinou dva nebo čtyři otvory po obvodu, jimiž proudí ochranný plyn. Počet těchto děr však není ideální pro dosažení laminárního proudění a tedy i ochrana svarového kovu nemusí dosahovat potřebných kvalit. Zlepšení plynové ochrany lze dosáhnout výměnou klasického domečku kleštiny za plynovou čočku (obr. 76). Ta je ve spodní straně vybavena sítkem s řadou otvorů, díky čemu se zlepšuje proudění ochranného plynu. Proudění je natolik lepší, že pro dosažení stejného ochranného efektu jako s klasickým domečkem kleštiny stačí menší průtok ochranného plynu. Další výhodou je možnost většího vyložení wolframové elektrody až o 20 mm, tedy zlepšení viditelnosti svarové lázně bez nutnosti zvýšení průtoku ochranného plynu či svařování v jinak nedostupných místech. Porovnání proudění ochranného plynu z hubice s a bez plynové čočky je na obrázku 77.



Obr. 75 Standardní domeček kleštiny [90]



Obr. 76 Plynová čočka [91]



Obr. 77 Porovnání proudění ochranného plynu z hubice s a bez plynové čočky [92]

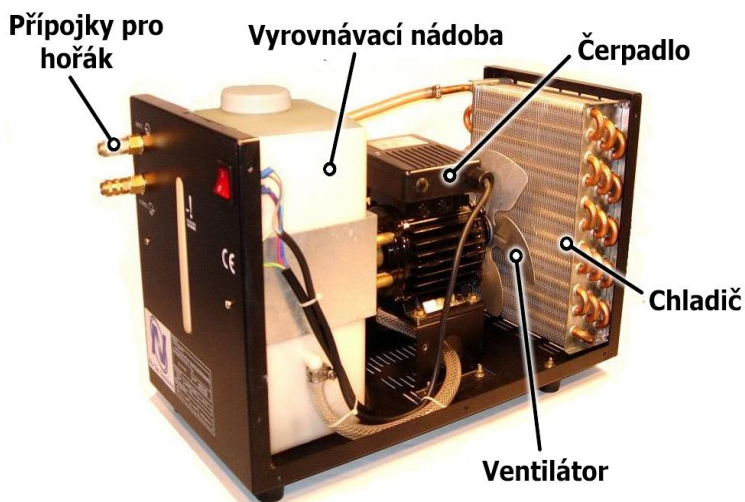
Izolační kroužek uložený mezi hlavou hořáku a keramickou případně měděnou hubicí zabráňuje přímému přestupu tepla z hubice do hlavy hořáku. Bez osazení izolace by docházelo k nadměrnému ohřevu hlavy hořáku, což by vedlo ke snížení životnosti hořáku. Krytka elektrody, jejímž úkolem je zakrytí wolframové elektrody, je vyráběna v několika velikostech. Při svařování v méně dostupném místě je tedy lepší použít krytku menšího rozměru. Zároveň je opatřena vnějším závitem, a tak při zašroubování do hlavy hořáku slouží krytka jako tlačicí element na kleštinu.

Hořáky je nutné vlivem velkého tepelného namáhání chladit. Rozlišuje se chlazení plynem a vodou. Méně výkonné svařování do 150 A si vystačí s chlazením hořáku procházejícím plynem, při vyšším proudovém zatížení až do 500 A je chlazení provedeno vodou. Hořáky chlazené plynem mohou být vybaveny jedním, nebo dvěma vstupními kabely. Pokud je hořák vybaven jedním, jde o tzv. chlazení procházejícím plynem, neboť jeden kabel slouží jako proudový vodič a zároveň vedení ochranného plynu. Právě prouděním ochranného plynu kolem proudového vodiče dochází jak ke chlazení proudového vodiče, tak hořáku. Dva kabely značí, že přívod plynu a proudu je od sebe oddělen, tedy chlazení není tak výkonné.

U více zatížených svařovacích hořáku je nutné přistoupit k vodou chlazenému hořáku. Ten se vlivem delšího svařovacího času a větších svařovacích parametrů zahřívá, čímž se snižuje jeho životnost a zároveň pracovní komfort pro svářeče. Svářečka je navíc vybavena zásobníkem vody, čerpadlem, výměníkem, ventilátorem a vodním okruhem, který je napojen na svařovací hořák. Ten je vybaven třemi vzájemně oddělenými hadicemi. Jednou je vedena voda do hořáku, druhým odváděna a třetí slouží jako proudový vodič a přívod ochranného plynu. Některé hořáky mají jedním vstupem vedeny s proudovým vodičem vstup vody, samozřejmě se vzájemnou izolací. Chladicí smyčka je vedena až ke hlavě hořáku, která je opatřena chladicí komorou (obrázek 78). Nejdůležitější součástí vodního chladicího okruhu jsou na obrázku 79.



Obr. 78 Chladicí komora [94]



Obr. 79 Nejdůležitější části vodního chlazení [93]

### 3.1.4. Ochranný plyn, tlakové zásobníky a jeho vedení [25; 44; 78; 84; 87; 95; 96; 97; 98; 99; 100; 101]

Ochranný plyn chrání netavící se rozžhavenou elektrodu, svarovou lázeň a přilehlé okolí svařovaného materiálu před vlivy okolní atmosféry, především tedy před oxidací. Zároveň tvoří ideální podmínky pro zapálení a stabilitu elektrického oblouku po celou dobu svařování, přenos tepla do svaru a jeho lepší formování. S ohledem na roztavený kov a velkou teplotu elektrody musí mít plyn takové vlastnosti, aby nedocházelo k jejich chemickému ovlivnění. Z těchto důvodů se využívají inertní neboli netečné plyny, především argon, hélium a nebo jejich směs.

Typ plynu se vybírá dle těchto kritérií: typ svářecí elektrody, požadované mechanické vlastnosti svarového kovu, tloušťka a tvar spoje, kvalita povrchu svařovaného materiálu (čistý, nebo pokrytý oxidami, okujemi či jiným znečištěním), poloha svaru, požadované hloubky provaření, vzhled svaru a cena. V hořícím oblouku mají ochranné plyny vliv na chování roztavených kapek.

Argon (Ar) je jednoatomový bezbarvý plyn, bez chuti či zápachu. Získává se destilací zkapalněného vzduchu, kde bod varu argonu při atmosférickém tlaku je 185,8 °C. Jeho zastoupení ve vzduchu dosahuje 0,934 %. Má malou tepelnou vodivost a ionizační potenciál je 15,8 eV. Tyto vlastnosti argonu umožňují snadný zápal elektrického oblouku a jeho vysokou stabilitu i při relativně velké délce. Hustota argonu je 1,784 kg·m<sup>-3</sup>, tedy přibližně 1,4 krát těžší než vzduch. Tento fakt pozitivně přispívá k efektivnosti a dobré schopnosti plynové ochrany zejména ve svařovací poloze PA. Běžně vyráběná čistota argonu je 99,995 %. Velkým plusem je jeho cena.

Helium (He) je jednoatomový bezbarvý plyn, bez chuti či zápachu. Získává se separací z některých druhů zemního plynu, kde se vyskytuje v množství okolo 1 %. Ve srovnání

s argonem dosahuje podstatně vyšší tepelné vodivosti. Taktéž ionizační potenciál je ve srovnání s argonem vyšší, tedy 24,6 eV a proto se elektrický oblouk špatně zapaluje a zároveň je nestabilní při větší délce oblouku. Helium je velmi lehký plyn s hustotou  $0,178 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Právě jeho nízká hustota snižuje efektivitu plynové ochrany. Aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění svarového spoje, je nutné zvýšit průtok plynu, čímž se ochranný efekt zvýší. Vyráběn je o vysoké čistotě, minimálně 99,996 %. Vysoká tepelná vodivost helia způsobuje, že přenos tepla v oblouku je velmi vysoký a právě proto se používá pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí a větších tloušťek (hliník, měď a jejich slitiny). Hloubka závaru i rychlost svařování je ve srovnání s argonem větší. Při svařování v čistém heliu je nutné použít zdroje, které dosahují napětí naprázdno až 100 V. Zapálení oblouku se provede pod ochrannou atmosférou argonu. Značným mínusem je jeho cena, která je ve srovnání s argonem více jak trojnásobná.

Směs argonu a helia (Ar + He) je využívána především proto, že spojuje dohromady výhodné vlastnosti obou plynů a vytvořila tak samostatnou skupinu. Poměr plynů může být různý, ale nejčastěji využívané jsou především tyto směsi Ar + He: 70/30 (70 % Ar + 30 % He), 50/50 (50 % Ar + 50 % He), 30/70 (30 % Ar + 70 % He). S rostoucím obsahem helia se zvyšuje napětí na elektrickém oblouku a jeho tepelný výkon, což se kladně odráží na tvaru a rozměrech svaru. Také svařovací rychlost a hloubka závaru je vyšší než při použití čistého argonu. Směsi argonu a helia se využívají především při svařování hliníku a mědi. Značnou výhodou při použití směsi 50 % Ar + 50 % He oproti čistému argonu je nárůst svařovací rychlosti o 100 %.

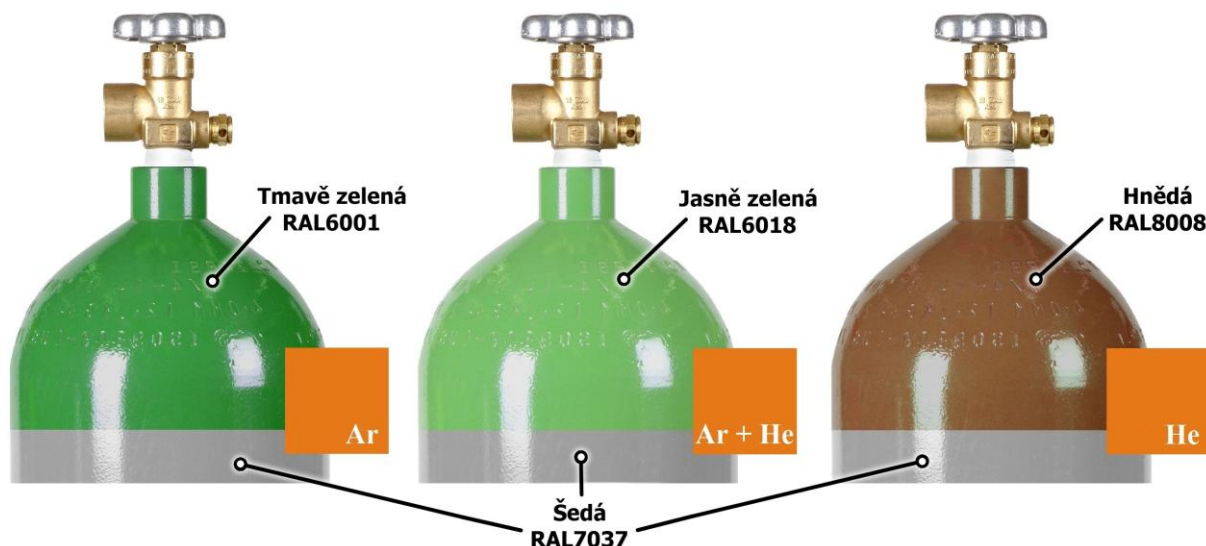
Tab. 36 Srovnání plynů argonu, helia a jejich směsi na svařovací vlastnosti [87]

Vlastnost	Argon	Směs 50/50 Argon + helium	Helium
Svařovací rychlost	Malá	Vyšší svařovací rychlost o více jak 100 % vůči argonu	Nejvyšší
Průvar	Malý	Vyšší průvar o více jak 100 % vůči argonu	Nejvyšší
Čistící účinek	Dobrá	Blízký čistému argonu	Nejmenší
Zapálení el. oblouku	Jednoduchý	Zlepšení zápalu el. oblouku o více jak 100 % oproti heliu	Obtížný
Stabilita el. oblouku	Dobrá	Zlepšení stability oblouku o více jak 100 % vůči heliu	Špatná
Kužel el. oblouku	Zaostřený	Více zaostřený vůči heliu	Rozostřený
Napětí el. oblouku	Malé	Střední	Velké
Průtok plynu	Nízký (10 - 30 CFH)	Vyšší oproti argonu	2 krát vyšší vůči argonu
Cena	Nízká	Střední	Vysoká

Plyny mohou být naplněny do tlakových lahví, které jsou určeny především pro domácí použití, případně menší firmy, jejichž spotřeba plynu není velká. Výhodou těchto lahví je možnost snadného transportu a tak lze svařovat na různých místech. Při manipulaci, transportu, uskladnění, či provozu tlakové láhve je nutné se držet bezpečnostními nařízeními, která udává norma ČSN 07 8304 (Tlakové nádoby na plyny – Provozní pravidla). Lahve s prošlou periodickou lhůtou zkoušky nebo poškozené lahve je zakázáno používat. Taktéž pokud dojde k poškození redukčního ventilu je daná láhev nezpůsobilá k provozu. Každá láhev je značena dle obsahu, kterým je naplněna. Přesné značení uvádí evropská norma ČSN EN 1089 – 3 (Lahve na přepravu plynů – Označování lahví na plyny (vyjma LPG) – Část 3: barevné značení). Barevně je značena válcová část a vrchlík lahve. Lahve značené podle nové normy jsou na vrchlíku označeny velkým písmenem „N“ (Nové, Neu, New, Nouveau).



Označení lahve obsahující argon, směs argon + helium a helium s přesnou specifikací barvy dle celosvětově uznávaného standartu RAL zobrazuje obrázek 80.



Obr. 80 Barevné značení vybraných lahví [99]

Ve velkých závodech jsou jednotlivé tlakové láhve nahrazeny velkým centrálním zásobníkem. Zásobník je plněn cisternami v pravidelném intervalu nebo dle potřeby. Výhodou je snížení kupní ceny ochranného plynu z důvodu velkoodběru. Nevýhodou je nutnost vybudování rozvodné sítě od zásobníku k jednotlivým pracovištím, pevně uložené přípojky ochranného plynu či velké náklady při přestavění výrobního závodu.

Z důvodu vysokého tlaku v lahvi (až 300 barů) je nutné tento tlak před samotným odebráním snížit na tlak pracovní a konstantní, což zajistí pravidelné množství průtoku plynu. Tuto funkci plní takzvaný redukční ventil (obr. 81). Redukční ventil se připojuje k lahvému ventilu pomocí převlečné matice. Ventil se skládá z části vysokotlaké a nízkotlaké, které jsou mezi sebou vzájemně propojeny škrticím ventilem. Obě části jsou vybaveny vlastním manometrem (tlakoměr). Jeden měří tlak plynu v lahvi (obsahový) druhý množství odebíraného plynu (pracovní). Některé redukční ventily jsou vybaveny místo výstupního manometru plovákovým průtokoměrem, jenž měří průtok plynu v litrech za minutu. Regulace na požadované množství odebíraného plynu se uskuteční pootočením regulačního šroubu. Plyn mezi tlakovou lahví s regulačním ventilem a svařečkou je veden pomocí svařovacích hadic vyráběných ze syntetického kaučuku.



Obr. 81 Red. ventil s výstupním manometrem a plovákovým průtokoměrem [100; 101]

### 3.1.5. Wolframové elektrody [25; 44; 84; 87; 102; 103]

Netavící se elektrody používané při svařování jsou tyčky, které se vyrábějí ze spékaného wolframu o čistotě 99,9 %. Wolfram vyniká vysokou teplotou tavení 3380 °C, teplotou varu 5700 °C, měrným elektrickým odporem  $5,36 \cdot 10^{-8} \Omega$  a hustotou  $19,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Úkolem elektrody je přivést elektrický proud a koncentrovat a směřovat sloupec elektrického oblouku do místa svařování. Pro zlepšení vlastností mohou být elektrody legovány oxidy kovů thoria, lanthanu, ceru, zirkonu či yttria. Tyto oxidy jsou v objemu elektrody pravidelně rozprostřeny a zvyšují proudovou a tepelnou zatížitelnost. Dále snižují výstupní energii emisí elektronů, což vede ke zlepšení zapalování elektrického oblouku a jeho stability. Také elektroda vydrží větší proudové zatížení a zvýší se její trvanlivost, neboť teplota tavení oxidů je vyšší.

Volba typu elektrody závisí na druhu proudu a oblasti použití. Klasifikace je dána dle chemického složení a stanovuje ji norma ČSN EN 6448 (Obloukové svařování a řezání – Netavící se wolframové elektrody – Klasifikace). Pro jednoduché odlišení různých typů elektrod se používá barevné značení na jednom konci elektrody. Tabulka 37 zobrazuje označení, barvu a legující prvek u wolframových elektrod. Obrázek 82 zobrazuje příklad barevného značení. Označení elektrod se skládá ze dvou písmen a dvou číslic. První písmeno W značí wolfram, který je základním prvkem. Druhé písmeno značí přísadu oxidů o kterou je elektroda legována. Číslo značí desetinásobek koncentrace oxidů v elektrodě.

Tab. 37 Označení, barva a leg. prvek wulf. el. [102]

Označení	Barva	Legování
WP	zelená	čistý wolfram 99,8 %
WT10	žlutá	thorium 1 % $\text{ThO}_2$
WT20	červená	thorium 2 % $\text{ThO}_2$
WT30	fialová	thorium 3 % $\text{ThO}_2$
WT40	oranžová	thorium 4 % $\text{ThO}_2$
WC20	šedá	cerium 2,0 % $\text{CeO}_2$
WL10	černá	lanthan 1,0 % $\text{LaO}_2$
WL15	zlatá	lanthan 1,5 % $\text{LaO}_2$
WL20	modrá	lanthan 2,0 % $\text{LaO}_2$
WZ08	bílá	zirkon 0,8 % $\text{ZrO}_2$
E3	fialová (lila)	vzácné zeminy



Obr. 82 Barevné značení el. [103]

- WP – čistá wolframová elektroda je vhodná pro svařování hliníku střídavým (AC) proudem. Pro svařování stejnosměrným (DC) proudem není vhodná. Dosahuje dobré stability oblouku a jako jediná elektroda se nebrousí do špičky.
- WT – elektroda legovaná thoriem. S rostoucím obsahem thoria v elektrodě se zlepšují zapalovací vlastnosti, trvanlivost a proudová zatížitelnost elektrody. Využívá se především při svařování vysoce legovaných a nerezových ocelí stejnosměrným proudem. Velkým negativem je fakt, že thorium je radioaktivní prvek. Radioaktivní částice se usazují v plicích a mohou tak způsobit rakovinu. Aby byl tento negativní jev omezen na minimum, je nutné při svařování důkladné odsávání a při broušení elektrod využívat brusky se systémem broušení za mokra. V současnosti je jejich prodej zakázán, avšak stále se dají u některých prodejců koupit.



- WC – elektroda legovaná cérem je univerzální pro téměř všechna použití. Lze ji použít při svařování střídavým, ale i stejnosměrným proudem. Lze ji použít při svařování nelegovaných i legovaných ocelí, slitin hliníku, slitin titanu, niklu, hořčíku a mědi. Vlastnosti WC elektrod jsou velmi podobné WT elektrodám, tedy snadné zapálení oblouku, dobrá trvanlivost a proudová zatížitelnost, ale výrazně méně zatěžují životní prostředí a zdraví svářeče.
- WL – elektroda legovaná lanthanem, stejně jako elektroda legovaná cérem je univerzální pro téměř všechna použití. Lze ji použít při svařování střídavým, ale i stejnosměrným proudem. Výhoda lanthanových elektrod oproti WC elektrodám je zejména v oblasti nízkých proudů a jsou tak vhodné i pro svařování plasmou a mikroplasmou. Vyšší obsah lanthanu usnadňuje zapalování, díky čemu jsou vhodné zejména pro automatizované svařování.
- WZ – elektroda legovaná zirkonem. Zirkon minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Používá se pro svařování střídavým proudem, tedy pro svařování hliníku a jeho slitin. Často bývá nahrazována za elektrodu WP.
- E3 – elektroda dotovaná vzácnými zeminami. Elektroda neobsahuje thorium a tak je oproti WT elektrodám představuje menší zátěž pro zdraví svářeče. E3 elektrody lze použít pro svařování nelegovaných i vysokolegovaných ocelí, hliníku a jeho slitin, mědi, titanu, niklu a hořčíku stejnosměrným i střídavým proudem. Vynikající zapalovací vlastnost je předurčuje pro automatizované svařování. V důsledku nižší teploty elektrody se ve srovnání s thoriovou elektrodou zvyšuje její proudová zatížitelnost a životnost.

Elektrody se dodávají v průměrech: 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0 a 10 mm a délce 50, 75, 150 a 175 mm. Za jednu hodinu svařování dojde k opotřebení elektrody zhruba o 4 mm. Průměr elektrody se volí v závislosti na druhu a intenzitě proudu, polaritě, druhu svařovaného materiálu a složení ochranného plynu. V normě ČSN EN 6448 lze nalézt vhodnost druhu proudu pro daný druh základního materiálu nebo slitiny. Doporučené rozsahy proudu v závislosti na průměru elektrody lze dohledat v tabulce 38.

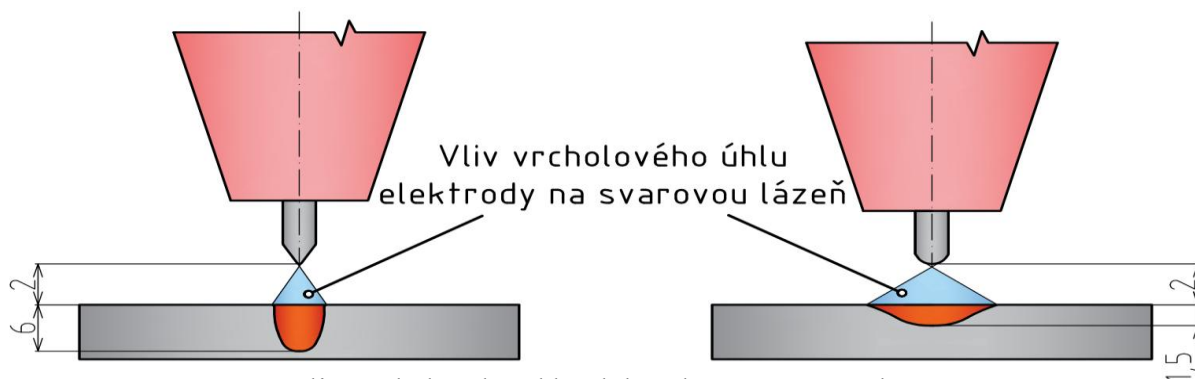
Tab. 38 Doporučené rozsahy proudu v závislosti na průměru elektrody [25]

Průměr elektrody [mm]	Stejnoseměrný proud [A]				Střídavý proud [A]	
	Elektroda záporná		Elektroda kladná			
	WP	WT,WL	WP	WT,WL	WP	WT,WL
0,5	2 - 20	2 - 20			2 - 15	2 - 15
1,0	10 - 75	10 - 75			15 - 55	15 - 70
1,6	40 - 130	60 - 150	10 - 20	10 - 20	45 - 90	60 - 125
2,0	75 - 180	100 - 200	15 - 25	15 - 25	65 - 125	85 - 160
2,5	130 - 230	170 - 250	17 - 30	17 - 30	80 - 140	120 - 210
3,2	160 - 310	225 - 330	20 - 35	20 - 35	150 - 190	150 - 250
4,0	275 - 450	350 - 480	35 - 50	35 - 50	180 - 260	240 - 350
5,0	400 - 625	500 - 675	50 - 70	50 - 70	240 - 350	350 - 460
6,3	550 - 875	650 - 950	65 - 100	65 - 100	300 - 450	430 - 575

Před samotným použitím elektrody, je nutné ji na druhé, barevně neznačené, straně obrousit do tvaru vhodného pro svařování. Vybroušený tvar zabraňuje proudovému přetížení hrotu, jeho odtavení a tím ke vzniku vměstků ve svarové lázni. Správnou volbou úpravy konce elektrody lze ovlivnit vlastnosti oblouku a tím i geometrii sváru (obr. 83). Ostřejší úhel

hrotu elektrody vede k hlubšímu závaru. Tupější úhel má opačný vliv. Při broušení wolframových elektrod dodržujeme tyto pravidla:

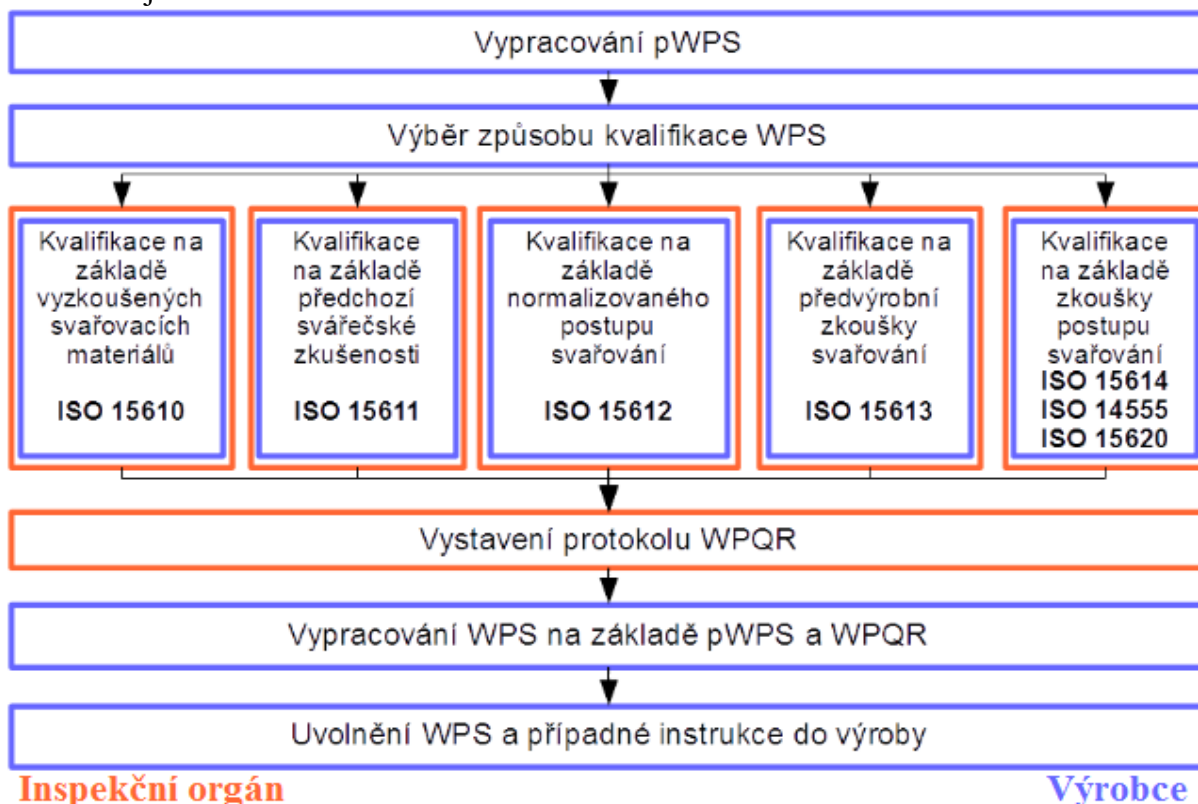
- Ostření musí probíhat v axiálním směru a brusný kotouč by se měl otáčet proti hrotu elektrody, aby nedocházelo ke zlomení křehkého materiálu
- Povrch obroušených elektrod musí být čistý, kovově lesklý, bez rýh, trhlin a otřepů
- Menší drsnost povrchu broušeného hrotu elektrody a lepší ovalita (centricita) vede ke klidnějšímu hoření oblouku a větší trvanlivosti wolframové elektrody.



Obr. 83 Vliv vrcholového úhlu elektrody na svarovou lázeň [25]

### 3.2 Svařovací protokoly nutné pro svaření dveřního rámu [104; 105; 106; 107; 108]

Před samotným svařováním je nutné vystavit protokoly pWPS, WPQR a WPS. Důvodem je, že svařování je zvláštní technologický proces, který musí být podroben kontrolám a zkouškám před, v průběhu a po provedení procesu. Důvodem těchto kontrol je dosažení požadované technické bezpečnosti, životnosti, trvanlivosti a bezporuchovosti svařových spojů na provozně namáhaných výrobcích. Cestu od vystavení pWPS protokolu až po uvolnění WPS shrnuje obrázek 84.



Obr. 84 Cesta od vystavení pWPS až po uvolnění WPS [104]

Jak obrázek 84 napovídá, prvotním krokem je tvorba pWPS (Preliminary Welding Procedure Specification), do češtiny přeloženo jako předběžný postup svařování. Předběžný postup svařování se vystavuje na základě norem ČSN EN ISO 15607 (Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla) a ČSN EN ISO 15609 (Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování). Zpracovává se na základě výrobních požadavků a potřeb zadavatele. Protokol pWPS určuje mimo jiné druh svařovacího procesu, druh svaru, specifikaci základního materiálu, tloušťku materiálu, polohu svařování, svařovací parametry, přídavný materiál, ochranný plyn, typ elektrody a další. Vypracování specifikace postupu pWPS je nutným základem, avšak stále neudává záruku, že svary splní požadované nároky na kvalitu.

Druhým krokem je zajištění nutných materiálů pro svaření. Na základě normy, dle které bude WPS kvalifikována, se připravují vzorky ke svařování. Úkoly a rozměry základního materiálu musí být dodrženy dle normy, jinak by nemohlo dojít k nakvalifikování WPS. Dle specifikace dříve vytvořeného protokolu pWPS se základní materiál svaří.

Následuje tvorba záznamu WPQR (Welding Procedure Qualification Report), do češtiny přeloženo jako kvalifikace postupu svařování. WPQR je protokol obsahující všechny nezbytné údaje, potřebné ke kvalifikaci pWPS. Kvalifikace může být provedena na základě vyzkoušených svařovacích materiálů, předchozí svářečské zkušenosti, normalizovaného postupu svařování, předvýrobní zkoušky svařování, anebo zkoušky postupu svařování. V závislosti na typu kvalifikace daný vzorek prochází zkouškami, které daná norma specifikuje. Může se jednat o zkoušky nedestruktivní (vizuální, penetrační, prozáření, magnetické, ultrazvukem), ale i destruktivní (makroskopické, tahové, ohybové, tvrdosti, vrubové houževnatosti). Jakým typem zkoušek bude testovací vzorek procházet, záleží na základě kvalifikace. Pokud daným zkouškám vzorky vyhoví, může se pokračovat k vypracování WPS, v opačném případě je nutné upravit parametry vstupující do pWPS a výše popsáný proces opakovat.

Posledním krokem je vypracování specifikace svařování WPS (Welding Procedure Specification), do češtiny přeloženo jako specifikace postupu svařování. Jedná se o dokument, který byl kvalifikován jedním z možných způsobů schvalování, který dává požadované proměnné postupy svařování, pro zajištění opakovatelné jakosti ve výrobě.

Pro svařování rámu byly cvičně zhotoveny tři protokoly WPS. První (příloha 12) specifikuje svařování tupého  $\frac{1}{2}$  Y svaru. Tloušťka svařovaného materiálu je v rozmezí 5,0 – 6,0 mm. Druhá (příloha 13) specifikuje koutový svar. Tloušťka svařovaných materiálů je rovna 3,0 mm. Poslední (příloha 14) specifikuje tupý  $\frac{1}{2}$  V svar. Tloušťka svařovaného materiálu je opět rovna 3,0 mm. Všechny protokoly WPS byly zhotoveny na základě WPQR dle klasifikace normy ČSN EN ISO 15613.

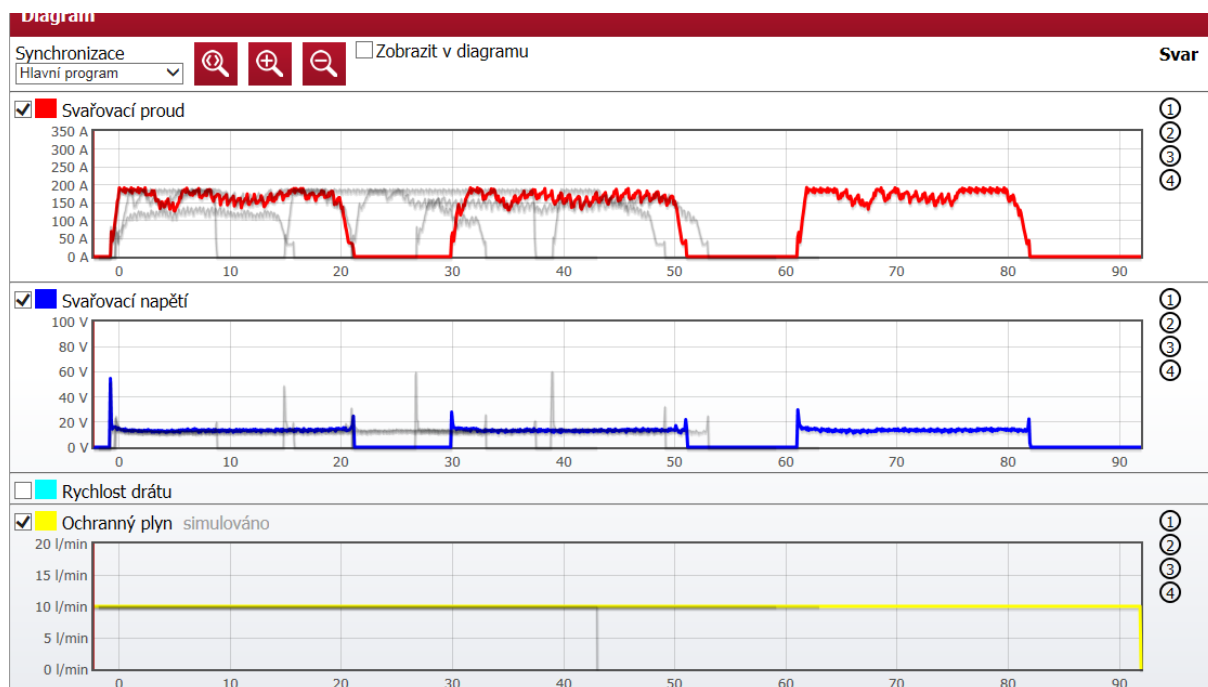
### 3.3 Svaření stávající a nově navrhnuté varianty dveřního rámu [109; 110]

Svaření obou dveřních rámu bylo provedeno dle stejných parametrů, které se odvíjí z protokolů WPS. Taktéž, oba rámy byly svařeny stejným svářečem, tudíž hodnoty potřebné pro ekonomické zhodnocení (svařovací čas a spotřebovaný přídavný materiál) nebyly ovlivněny. Pro svařování bylo využito svařovacího zdroje EWM Tetrix 300 AC/DC Comfort 2.0 puls TM (obr. 85). Jedná se o modulární invertorový svařovací přístroj, který umožňuje chlazení plynem nebo vodou. Ve firmě IFE je z důvodu velkého zatížení svařovacího zdroje a jeho příslušenství využito chlazení vodou. Technické parametry svařovacího zdroje lze dohledat v technickém listu v příloze 15.



Obr. 85 EWM Tetrix 300 [109]

Svařovací zdroj je možno propojit přes LAN nebo WiFi s počítačem a využít funkce softwaru ewm Xnet. Ten umožňuje zdokumentovat každý svar a díky tomu zabezpečit správně svařovací parametry, či optimalizovat svařovací čas svářeče. Lze jak v reálném čase, či minulém sledovat využití a přesné svařovací parametry, které jsou nebo byly použity. Systémové prostředí a část z mnoha možných sledovaných parametrů softwaru ewm Xnet zobrazuje obrázek 86.



Obr. 86 Systémové prostředí softwaru ewm Xnet

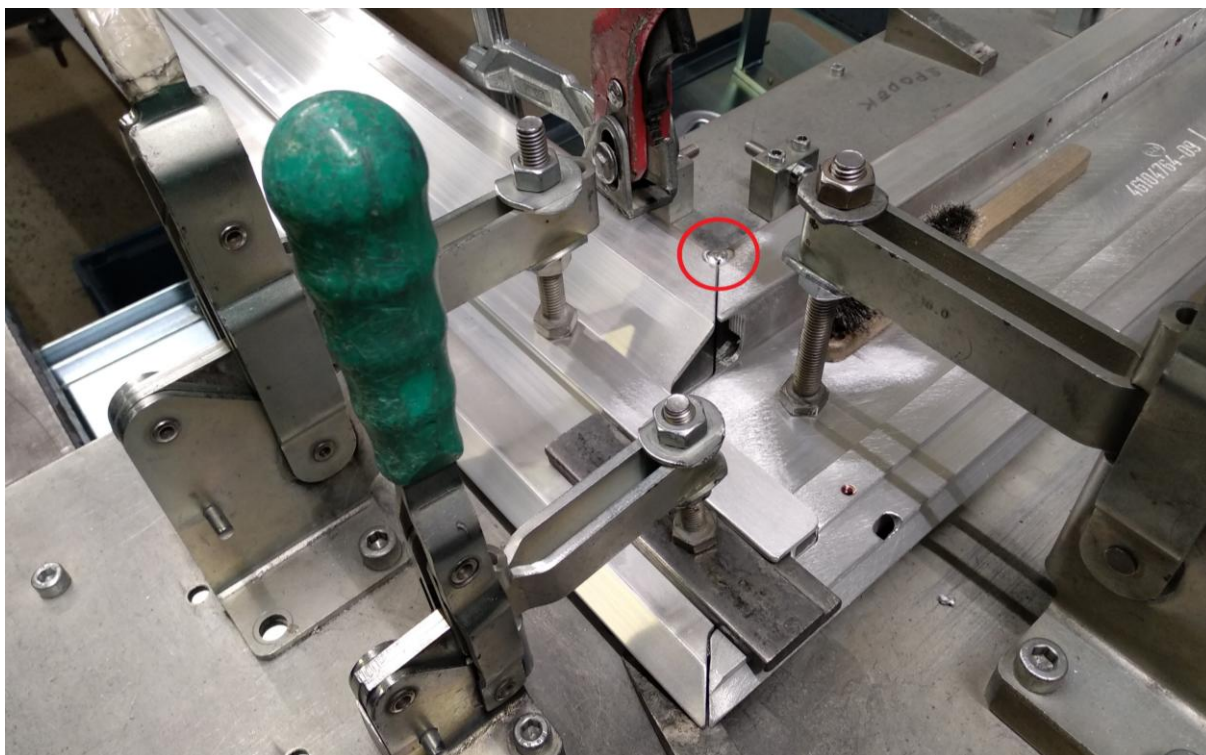
Dveřní rám se skládá celkem z pěti profilů, z toho čtyři se svařují. Tyto profily jsou před samotným započítím svařování upnuty do svařovacího přípravku (obr. 87), díky němuž se minimalizují deformace způsobené svařovacím procesem, respektive vneseným teplem. Taktéž daný přípravek slouží k perfektnímu vyrovnání jednotlivých profilů a jejich fixaci v dané pozici. Veškerá fixační ramena jsou uložena na rámu, který je uložen na čepích a lze s ním libovolně otáčet kolem axiální osy. Rám podvozku je vybaven transportními kolečky.



Obr. 87 Svařovací přípravek pro svařování dveřního rámu

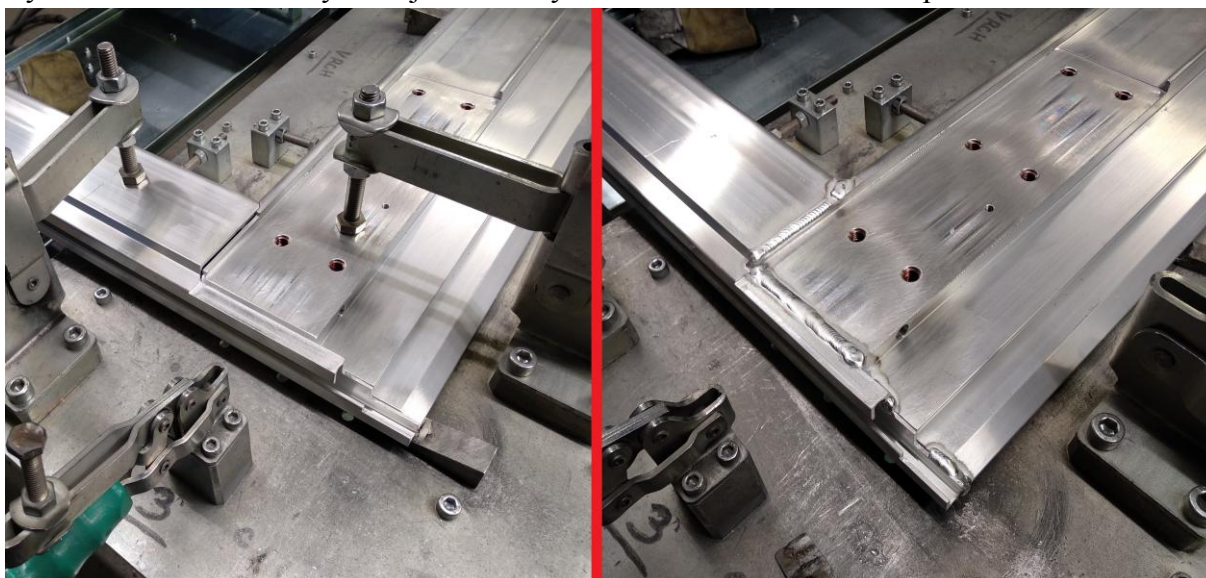


Po založení, vyrovnaní a upnutí profilů do svařovacího přípravku jsou jednotlivé profily sbodovány. Bodový svar (obr. 88) stačí k zajištění vzájemné polohy profilů pro svařování a zároveň vnesené teplo do svařence je minimální, a tak nedochází před samotným svařením ke vzniku deformace dveřního rámu.



Obr. 88 Bodový svar na profilech dveřního rámu

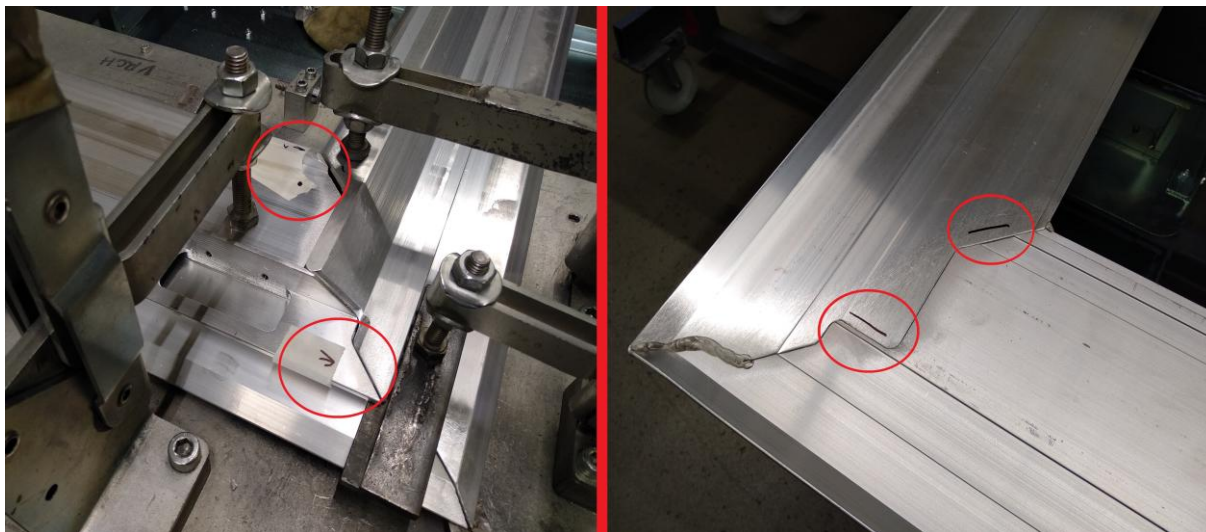
Při svařování se postupovalo dle postupu, který svářeč vidí na monitoru ve svém svařovacím boxu. Nejprve se svařuje vnitřní strana dveří a následně vnější. Svařovací parametry, typ elektrody, základní materiál, přídatný materiál, ochranný plyn a další potřebné informace ohledně svařování lze dohledat ve WPS (příloha 12, 13 a 14). Během svařování se pomocí stopek měřil svařovací čas, který byl následně využit při výpočtu ekonomického zhodnocení. Obrázek 89 zobrazuje roh G stávajícího dveřního rámu stávající varianty před a po svaření. Vnější strana dveřního rámu se svařuje již bez upnutí, neboť rám má již dostatečnou tuhost. Výkres svařované sestavy stávající varianty dveřního rámu lze nalézt v příloze 9.



Obr. 89 Roh G stávajícího dveřního rámu před a po svaření



Po svaření stávající varianty dveřního rámu následovalo svaření varianty nově navržené. Jednotlivé kroky předcházející sváření a během sváření byly totožné. Jediným rozdílem tedy bylo vynechání svarů, dle návrhu simulace MKP. Pro jednodušší orientaci svářeče, byly dle výkresu svařované sestavy nově navržené varianty dveřního rámu (příloha 10) označeny pozice svarů, které se měli vynechat. Postup svařování byl totožný. Označení některých pozic svarů, které mají být vynechány, zobrazuje obrázek 90.



Obr. 90 Označení pozic redukovaných svarů

### 3.4 Otestování nově navrženého dveřního rámu a svařovací postup

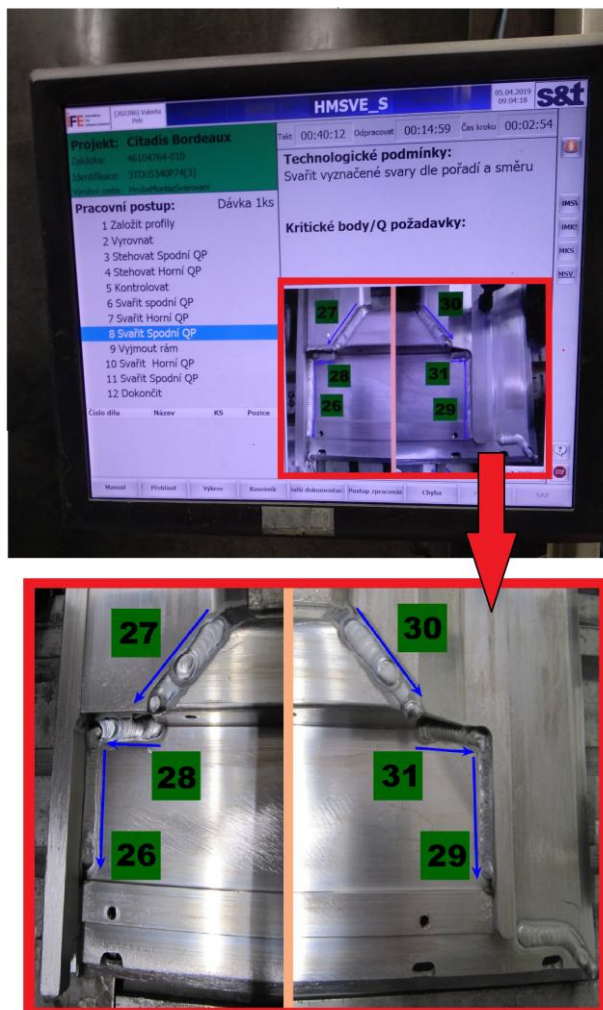
I přes kladný výsledek simulace MKP nelze nově navržený dveřní rám pustit do výroby bez otestování na reálné stolici. Simulační softwary stále pouze ukazují orientační hodnotu deformace či napětí. I přes jejich rychlý vývoj je stále hlavním ověřovacím způsobem reálná zkouška. Firma IFE spadá pod německý koncern Knorr – Bremse. Veškeré zatěžovací zkoušky jsou prováděny a schvalovány právě v Německu. Právě velká vzdálenost a nutné schvalovací opatření vedly k nemožnosti splnění otestování na reálné stolici. Daný návrh bude testován až v budoucnu a jeho výsledky tedy nejsou obsaženy v diplomové práci. Způsob zatížení odpovídá normě ČSN EN 14752. Lokaci a velikost zatížení zobrazuje obrázek 47. Pohled na reálnou stolici zachycuje obrázek 91.



Obr. 91 Reálná zatěžovací stolice

Svařovací postup stávajícího a nově navrženého rámu se neliší. Tedy nově navržený rám byl svařen dle stejného svařovacího postupu jako rám stávající. Pokud by byla reálná zatěžovací zkouška úspěšná a rám by tak dle nového návrhu byl svařován, stála by úprava svařovacího postupu za zvážení. Pevné upnutí rámu ve svařovacím přípravku minimalizuje deformaci vznikající tepelným ovlivněním svařovacího cyklu, avšak na úkor nárůstu vzniku vnitřního pnutí. Nový návrh, by vedl k jinému tepelnému rozdělení uvnitř dveřního rámu při svařování, což by mohlo mít negativní vliv právě na vznik vnitřního pnutí. Po uvolnění svařeného rámu z přípravku by tak došlo k jeho deformaci. Následné rovnání by vedlo akorát k nárůstu výrobního času a vyšším výrobním nákladům.

Svářeč ve firmě IFE vidí svařovací postup na monitoru ve svém svařovacím boxu. Postup obsahuje název projektu, pod který dveřní rám spadá. Číslo zakázky a identifikace usnadňuje přístup k výkresové dokumentaci. Dále je na monitoru vidět pracovní postup v jednotlivých bodech. Mezi body si může svářeč jednotlivě přepínat dle nutnosti. Po přepnutí se vždy v pravém dolním rohu zobrazí detailní fotografie s vyznačenými svary. Svary jsou číselně označeny dle pořadí. Dále jsou svary opatřeny šipky, které vyznačují směr svařování. Obrázek 92 zachycuje monitor ve svařovacím boxu se svařovacím postupem a detailním zobrazením ukázkové fotografie s označenými svary a směrem svařování.



Obr. 92 Monitor se svařovacím postupem

## 4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [99; 111; 112]

Srovnány budou dvě varianty dveřního rámu. První variantou je dveřní rám, který je momentálně ve firmě IFE využíván. Dle simulačního výpočtu se jedná o tzv. básovou variantu neboli variantu s kódovým označením 010 respektive 013. V této kapitole bude značena jako aktuální varianta. Přesné označení svarů a jejich poloha je ve výkresu svařované sestavy rámu dveří varianty 010 a 013 (příloha 8). Druhou variantou je nově navržený dveřní rám, který obsahuje menší množství počtu svarů a jejich celkové délky. Jedná se dle simulačního označení o variantu 011 respektive 014. V této kapitole bude značena jako nově navržená varianta. Ve výkresové dokumentaci svařované sestavy rámu 011 a 014 (příloha 9) lze nalézt svary, které jsou eliminovány.

Samotné technicko – ekonomické zhodnocení počítá s následujícími proměnnými: čistý svařovací čas, spotřeba elektrické energie, spotřeba ochranného plynu, spotřeba přídatného materiálu a hodinová mzda pracovníka. S dalšími parametry, mezi které lze zařadit nepřímé (režijní) náklady, údržbu a servis nebude počítáno. Čistý svařovací čas je čas, po který hoří elektrický oblouk. Časy předfuku a dofuku ochranného plynu do tohoto času nespádají. Změřen byl pomocí stopky a následně zaznamenán. Spotřeba elektrické energie a ochranného plynu byla vyčtena ze softwaru ewm Xnet 2.0. Délku spotřebovaného přídatného materiálu z tohoto softwaru nelze odečíst, neboť přídatný materiál si svářeč podává ručně. Zbytky z tyček přídatného materiálu byly postupně odkládány a na konci svařovacího cyklu byla změřena délka poslední tyčky. Předchozí zbytky tyček jsou brány automaticky jako odpad, neboť je z důvodu krátké velikosti nelze více využít. Délka poslední tyčky byla odečtena od počtu využitých tyček při procesu svařování vynásobená délkou vstupní (nové) tyčky přídatného materiálu. Změřené hodnoty jsou následně přepočítány na počet vyrobených dveřních rámu za rok 2018, tedy na 8122 kusů.

Tab. 39 Srovnání aktuální a nově navržené varianty

	Aktuální varianta	Nově navržená	Rozdíl	Rozdíl při 8 122 [ks]
<b>Svařovací čas [min:s]</b>	15:21	13:21	2:00	162 44:00 = 270,73 h
<b>Spotřeba el. energie [kWh]</b>	0,477	0,431	0,046	373,612
<b>Spotřeba ochr. plynu [l]</b>	225	201	24	194 928
<b>Spotřeba př. materiálu [ks]</b>	7	6,3	0,7	5 685,4

Tabulka 39 shrnuje naměřené hodnoty a uvádí rozdíl jak na jeden dveřní rám, tak i na roční produkci 8 122 kusů z roku 2018. Tyto hodnoty budou dále přepočteny na úsporu z hlediska financí. Vstupní parametry jsou částečně na základě informací z firmy IFE, respektive cena elektrické energie, litru helia a přídatného materiálu. Mzda svářeče je brána z webové stránky Jobs Contact, která uvádí platové ohodnocení svářeče za osmi hodinou směnu pro Jihomoravský kraj v rozmezí 29 000 – 47 000 Kč [112]. Pro výpočet bude brána průměrná hodnota tohoto rozmezí, tedy 38 000 Kč. Za měsíc je uvažováno 20 pracovních dní, tedy celkem 160 pracovních hodin za měsíc. Hodinová hrubá mzda svářeče tak vychází na 237,5 Kč. Cenu litru argonu nelze stanovit z dodaných materiálu od firmy IFE, neboť nejsou uvedeny přepravní podmínky (tlak, teplota). Proto je tato cena stanovena dle poměru cen argonu a helia z webové stránky Norbertovy bomby [99]. Vypočteným poměrem byla vynásobena cena litru helia, jenž vychází z firemní dokumentace. Získaná cena litru argonu tak zahrnuje i přibližnou slevu za velkoodběr. Cena tyčky přídatného materiálu vychází ze

znalosti hmotnosti jedné tyčky (11,44 g) a ceny 5kg balení přídavného materiálu. Veškeré ceny jsou bez DPH.

• **Stanovení vstupních parametrů:**

Hrubá hodinová mzda svářeče:

$$M_z = 237,5 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

Cena za 1 MWh el. energie:

$$C_{ee} = 1870 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

**Náklady na helium:**

Objem svazku helia  $O_{He}$ :

$$O_{He} = 157,2 \text{ m}^3 = 157\,200 \text{ l} \quad (4.3)$$

Náklady na svazek helia včetně dopravy:

$$\begin{aligned} N_{SHe} &= C_{SV} + R_O + ADR + S_i = 85\,905 + 1\,188 + 1\,220 + 1\,028 \\ &= 89\,341 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.4)$$

kde:  $C_{SV}$  – cena svazku bez dopravy [Kč]

$R_O$  – cena za rozvoz svazku [Kč]

$ADR$  – příplatek za přepravu nebezpečných věcí [Kč]

$S_i$  – silniční příplatek na svazek [Kč]

Náklady na litr helia včetně dopravy:

$$N_{DLHe} = \frac{N_{SHe}}{O_{He}} = \frac{89\,341}{157\,200} = 0,568 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

**Náklady na argon.**

Odhad ceny argonu:

$$\frac{Ar}{He} = \frac{2500}{7850} \cdot 100 = 31,85 \% \quad (4.6)$$

\* Cena argonu činí průměrně 31,85 % ceny helia.

Náklady na litr argonu včetně dopravy:

$$N_{DLAr} = 0,3185 \cdot N_{DLHe} = 0,3185 \cdot 0,568 = 0,181 \text{ Kč} \quad (4.7)$$



### Náklady na přídavný materiál.

Cena 5 kg přídavného materiálu:

$$C_{BPR} = 1\,830 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Naměřená hmotnost 1 ks přídavného materiálu:

$$m_{TPR} = 11,44 \text{ g} \quad (4.9)$$

Cena 1 ks přídavného materiálu:

$$C_{TPR} = 1\,830 \cdot \frac{11,44 \cdot 10^{-3}}{5} = 4,19 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Shrnutí vstupních parametrů pro následující výpočet je v tabulce 40.

Tab. 40 Shrnutí vstupních parametrů

	Hrubá hodinová mzda svářeče	Cena za MWh el. energie	Náklady na litr helia	Náklady na litr argonu	Cena 1 ks přídavného mat.
Kč	237,5	1870	0,568	0,181	4,19

### • Náklady na výrobu 1 ks dveřního rámu pro aktuální variantu.

Cena svařovací práce pro aktuální variantu:

$$C_{SV1} = M_Z \cdot t_{SČ1} = 237,50 \cdot 0,26 = 61,75 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

kde:  $t_{SČ1}$  – svařovací čas pro aktuální variantu [h]

Cena spotřebované el. energie pro aktuální variantu:

$$C_{Se1} = \frac{C_{ee}}{1000} \cdot S_{ee1} = \frac{1\,870}{1\,000} \cdot 0,477 = 0,89 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde:  $S_{ee1}$  – spotřeba el. energie pro aktuální variantu [MWh]

Cena spotřebovaného ochranného plynu pro aktuální variantu:

$$\begin{aligned} C_{OP1} &= S_{OP1} \cdot 0,3 \cdot N_{DLHe} + S_{OP1} \cdot 0,7 \cdot N_{DLAr} \\ &= 225 \cdot 0,3 \cdot 0,568 + 225 \cdot 0,7 \cdot 0,181 = 66,85 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.13)$$

kde:  $S_{OP1}$  – spotřeba ochranného plynu pro aktuální variantu [l]

Cena spotřebovaného přídavného materiálu pro aktuální variantu:

$$C_{PM1} = S_{PM1} \cdot C_{TPR} = 7 \cdot 4,19 = 29,33 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

kde:  $S_{PM1}$  – spotřeba přídavného materiálu pro aktuální variantu [ks]



• **Náklady na výrobu 1 ks dveřního rámu pro nově navrhnutou variantu.**

Cena svařovací práce pro nově navrhnutou variantu:

$$C_{SV2} = M_Z \cdot t_{SČ2} = 237,50 \cdot 0,22 = 52,25 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

kde:  $t_{SČ2}$  – svařovací čas pro nově navrhnutou variantu [h]

Cena spotřebované el. energie pro nově navrhnutou variantu:

$$C_{Se2} = \frac{C_{ee}}{1000} \cdot S_{ee2} = \frac{1\,870}{1\,000} \cdot 0,431 = 0,81 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

kde:  $S_{ee2}$  – spotřeba el. energie pro nově navrhnutou variantu [MWh]

Cena spotřebovaného ochranného plynu pro nově navrhnutou variantu:

$$\begin{aligned} C_{OP2} &= S_{OP2} \cdot 0,3 \cdot N_{DLHs} + S_{OP2} \cdot 0,7 \cdot N_{DLAr} \\ &= 201 \cdot 0,3 \cdot 0,568 + 201 \cdot 0,7 \cdot 0,181 = 59,72 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.17)$$

kde:  $S_{OP2}$  – spotřeba ochranného plynu pro nově navrhnutou variantu [l]

Cena spotřebovaného přídatného materiálu pro nově navrhnutou variantu:

$$C_{PM2} = S_{PM2} \cdot C_{TPR} = 6,3 \cdot 4,19 = 26,4 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

kde:  $S_{PM2}$  – spotřeba přídatného materiálu pro nově navrhnutou variantu [ks]

Z výše uvedených výpočtu jsou jasně patrné náklady na aktuální a nově navrhnutou variantu. Největší úspory je dosaženo na svařovací práci. Tato úspora dosahuje 9,50 Kč. Celková úspora na jeden dveřní rám činí 19,64 Kč. Pokud budeme počítat s roční produkcí za rok 2018, která je 8 122 ks, dostává roční úsporu 159 516,08 Kč. Porovnání nákladů na výrobu dveřního rámu aktuální a nově navrhnuté varianty zobrazuje tabulka 41.

Tab. 41 Porovnání nákladů na výrobu dveřního rámu aktuální a nově navrhnuté varianty

	Aktuální varianta	Nově navrhnutá varianta	Úspora na 1ks	Roční úspora (8 122 ks)
<b>Svařovací práce</b>	61,75 Kč	52,25 Kč	9,50 Kč	77 159,00 Kč
<b>El. energie</b>	0,89 Kč	0,81 Kč	0,08 Kč	649,76 Kč
<b>Ochranný plyn</b>	66,85 Kč	59,72 Kč	7,13 Kč	57 909,86 Kč
<b>Přídavný materiál</b>	29,33 Kč	26,40 Kč	2,93 Kč	23 797,46 Kč
<b>Cena celkem</b>	158,82 Kč	139,18 Kč	19,64 Kč	159 516,08 Kč

## 5 ZÁVĚRY

Materiál dveřního rámu kolejových vozidel musí splňovat vysoké nároky nejen v celém svém životním spektru, ale již od samotné výroby. Toto je důvod, proč běžné oceli nelze využít. Vhodným adeptem jsou slitiny hliníku, které díky základnímu prvku dosahují minimální hmotnosti a legující prvky jim dodávají potřebnou pevnost. Ještě lepších vlastností se dosáhne jejich tepelným zpracováním.

Dveřní rám zadaného projektu je tvořen profily z materiálu EN AW 6060, který je tepelně zpracován dle stavu T66. Výsledkem tepelného zpracování je tvorba precipitátů, které zvyšují mechanické vlastnosti dané slitiny. Mluvíme o tzv. precipitačním vytvrzování. Problém nastává při svařování těchto profilů, neboť vysoké tepelné ovlivnění rozpouští vzniklé precipitáty. Výslednou strukturu či mechanické vlastnosti, lze tak velmi těžko bez experimentálních zkoušek určit.

Potřebné mechanické vlastnosti proto byly určeny na vzorcích získaných ze svařených plechů hliníkové slitiny EN AW 6060 T66. Vzorky byly podrobeny tahové zkoušce, díky které byly zjištěny základní materiálové charakteristiky. Výsledky potvrdily snížení mechanických vlastností vlivem tepelného ovlivnění při svařování a posloužily jako hraniční hodnoty během tvorby softwarové simulace zatížení dveřního rámu.

Uvažovány byly dva způsoby vedoucí k urychlení výroby dveřního rámu během svařovacího cyklu. Prvním je použití jiné svařovací metody, než je momentálně používaná metoda TIG. Po zhodnocení kladných a záporných stránek ostatních možných metod, byl tento způsob zavrhnut. Druhým a dále rozvíjeným způsobem byla úprava výkresu svařované sestavy dveřního rámu. Redukce určitých svarů, zcela určitě vede k snížení výrobního času, avšak ovlivňuje výslednou pevnost a tuhost dveřního rámu.

Redukce některých svarů na rámu dveří bez podložené softwarové simulace by mohla vést k nutnosti opakování reálné zkoušky zatížení, než by byl nalezen vhodný návrh. Toto opakování by mělo za následek nárůst finanční náročnosti. Z tohoto důvodu byl možný nový návrh nejprve simulován v softwaru Virtual Performance Solution s nástavbou PAM – Crash. Celkově bylo vypočteno šest variant a z nich následně vybrána ta, která měla největší předpoklady pro nový úspěšný návrh.

Aktuální a nově navržená varianta byla svařena. Při procesu svařování byly změřeny vstupní parametry pro výpočet ekonomického zhodnocení. Nově navržený a svařený rám bude následně otestován na reálné stoličce, čímž se potvrdí nebo vyvrátí vhodnost daného návrhu. Kladný výsledek zatěžovací zkoušky povede k zavedení nového návrhu do výroby.

Ekonomické zhodnocení zahrnuje výpočet cenové náročnosti svařování na jeden kus dveřního rámu aktuální a nově navržené varianty. Z těchto hodnot byl následně vypočítán rozdíl na jeden kus a na roční produkci 8 122 ks za rok 2018. Výsledné ušetření na tomto počtu dveří činí 159 516,08 Kč.

Experimentální zkouška materiálu EN AW 6060 T66 ukázala, že vliv svařovacího cyklu na mechanické vlastnosti je značný. Možnou alternativou svařování by v budoucnu mohlo být lepení. Problémem ovšem je vhodný typ lepidla, který by odolával vysokým teplotám při procesu práškového lakování. Další možnou cestou by mohla být změna přídavného materiálu za materiál, který by urychlil proces přirozeného vytvrzování po svaření rámu. I tento krok se setkává s negativem, neboť potřebný čas na vytvrzení by dost ovlivnil čekací dobu zákazníka na hotový rám. Urychlit tento čas opětovným tepelným zpracováním dveřního rámu, by vedlo k nárůstu výrobní ceny a možnosti deformace. Poslední možností by byla změna základního materiálu za materiál, který potřebné mechanické vlastnosti pro provoz rámu splňuje i bez tepelného zpracování.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [113]

1. Železniční doprava. *Vítejte na Zemi.: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. Praha: CENIA, 2013 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: [http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=zeleznicni\\_doprava&site=doprava](http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=zeleznicni_doprava&site=doprava)
2. London itineraries. *The Telegraph: Travel Destinations* [online]. [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/travel/destinations/europe/united-kingdom/england/london/articles/london-itineraries/>
3. Rolling Stock Manufacture. *The Railway Technical Website* [online]. 2018 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-manufacture.html>
4. *GrabCAD Community* [online]. 2019 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/simulation-car-frame-with-gif-1>
5. Industrial Welding Program Starts. *Butler Tech* [online]. Ohio, 2018 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://www.butlertech.org/event/industrial-welding-program-starts/>
6. KNORR - BREMSE, *Door leaf*, Výkresová dokumentace rámu dveří [cit. 2019-02-08].
7. KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. Praha: SNTL/ALFA, 1986.
8. CRLA, Tobiáš. *Vliv parametrů svařování na úhlové deformace svaru*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ladislav Daněk.
9. *IFE: Innovations for Entrance Systems* [online]. Brno [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.ife.cz/cz/>
10. *Railway technology: Door control units* [online]. West Midlands: Mors Smitt [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://www.ri-tech.cz/wp-content/uploads/2017/02/BRO-Door-control-units-V1.2.pdf>
11. SKILLINGBERG, Michael. *Aluminum Applications in the Rail Industry* [online]. In: JASG Consulting, 2007, s. 5 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.aluminum.org/sites/default/files/Light%20Metal%20Age%20--%20Aluminum%20Applications%20in%20the%20Rail%20Industry.pdf>
12. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. Brno: Akademické Nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, 2004, 149 s.
13. MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2015. ISBN 80-89041-88-4.
14. MORAVEC, Jan. *Zpracování hliníku - od minerálu až po kabel*. *O Energetice* [online]. 2015, 29. září 2015 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/uncategorized/zpracovani-hliniku-od-mineralu-az-po-kabel/>
15. Aluminium - Specifications, Properties, Classifications and Classes. *AZO materials* [online]. 17 May 2005 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863>
16. Economics. *All about aluminium* [online]. UC RUSAL, 2015 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: [https://www.aluminiumleader.com/economics/world\\_market/](https://www.aluminiumleader.com/economics/world_market/)
17. JAKOBSEN, Jonas Vestfjell. *Microstructure and Mechanical Properties of Welded AA6082 Aluminium Alloys*. Norsko, 2016. Norwegian University of Science and Technology. Vedoucí práce Trond Furu.
18. ČSN EN 573-3. *Hliník a slitiny hliníku - Chemické složení a druhy tvářených výrobků - Část 3: Chemické složení a druhy výrobků*. 2. 2014.
19. HAMMERER ALUMINIUM UNDUSTRIES GMBH, Abnahmeprüfzeugnis 3.1 gemäß EN 10204, Certifikát 3.1 [cit. 2019-02-19].
20. MRÓZ, Andrzej a R.J. MANIA. The complex influence of aluminium aging on the dynamic response of the thin-walled AL-6060 alloy profile. *Science Direct* [online].

- Poland, 2014, 2014 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823114000482>
21. ČSN EN ISO 6892-1 (420310). Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty. 4. 2017, 76 s.
  22. ČSN 42 0056 (420056). Tepelné zpracování neželezných kovů a jejich slitin.: Rozdělení, názvosloví a definice. 2. 1993, 12 s.
  23. TŮV NORD CZECH, LPP 18 – Zkouška tahem / Tensile test (ČSN EN ISO 6892-1), Protokol o zkoušce [cit. 2019-03-03].
  24. VANĚK, Mojmir. *Vývoj modelů chování Al slitin pro aplikace v numerických simulacích svařování a tepelného zpracování* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/69917>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Daněk.
  25. BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Základní kurz svařování metodou 141: se souborem testových otázek*. Ostrava: ZEROSS, 2009. ISBN 80-866698-12-2.
  26. TŮV NORD CZECH, LPP 18 – Zkouška tahem / Tensile test (ČSN EN ISO 6892-1), Protokol o zkoušce tahem [cit. 2019-03-05].
  27. VOESTALPINE. *Fontargen brazing: Handbook for brazing consumables* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [http://www.scholiers.be/nl/download/product\\_pdf/nl-Fontargen-Brazing-handbook-EN-pdf-1542303560.pdf](http://www.scholiers.be/nl/download/product_pdf/nl-Fontargen-Brazing-handbook-EN-pdf-1542303560.pdf)
  28. OK TIGROD 5087: (OK TIGROD 18.17). *OK WELD s.r.o.* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: [http://www.okweld.cz/PDF/draty-wig-tig/hlinik/OK\\_TIGROD\\_5087.pdf](http://www.okweld.cz/PDF/draty-wig-tig/hlinik/OK_TIGROD_5087.pdf)
  29. ČSN EN ISO 18273 (05 5322). Svařovací materiály - Svařovací dráty a tyče pro svařování hliníku a slitin hliníku - Klasifikace. 2. 2016.
  30. VOESTALPINE, *Test Report 2.2*, Atest přídavného materiálu AlMg4,5MnZr [cit. 2019-03-10].
  31. Aluminium Alloy Welding Wires ER 5087 (TIG). *Focus weld* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.focusweld.com/product-detail/alloy-aluminum-wire-factory-china-alloy-aluminum-wire-factory-er5087>
  32. ČSN EN ISO 15614-2 (050314). Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 2: Obloukové svařování hliníku a jeho slitin. 2006.
  33. ČSN EN ISO 4136 (051121). Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem. 4. 2013.
  34. PROJEKTY: Převodová kola frézky Optimum BF-20 Vario. *Tumlikovo: Metal Cutting Technologies* [online]. 12. Března 2011 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/projekty/page/12/>
  35. ROLEČEK, Jakub. *Mechanické vlastnosti a struktura slitiny hliníku po tepelném zpracování* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/12780>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Martin Juliš.
  36. KHAIRA, H.K. *Precipitation Hardening* [online]. In: Bhópál [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/RakeshSingh125/f-precipitation-hardening>
  37. MOHAMED, A.M.A. a F.H. SAMUEL. Heat Treatment: Conventional and Novel Applications. *IntechOpen* [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/heat-treatment-conventional-and-novel-applications/a-review-on-the-heat-treatment-of-al-si-cu-mg-casting-alloys>



38. ČSN EN 515 (420053). Hliník a slitiny hliníku - Výrobky tvářené - Označování stavů. 2. 2017, 24 s.
39. KUNCIPÁL, Josef, Jiří NOVOTNÝ, Rudolf DUBENSKÝ, Jiří NOVOTNÝ a Václav PILOUS. *Teorie svařování*. 1. Praha: Alfa, 1986, 265 s.
40. KOUTNÝ, Jiří. Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. *EWS svářečská technika* [online]. 2006 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://www.ews.cz/files/servis/hlinik.pdf>
41. NOVOTNÝ, Ján, Ján HOLÁSEK a Michal MATEJEC. *Zváranie a rezanie hliníka*. 2. Bratislava: Alfa, 1975, 480 s.
42. KOLÁŘ, Vladislav. Svařitelnost hliníkových slitin. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 2015, 23. 10. 2015 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: [http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502&fbclid=IwAR2WvT2iMLbNAHnyT-KhnXwKoLSUmPUhqBHCYmvsPWqUP1BigIbvy\\_pTmvc](http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502&fbclid=IwAR2WvT2iMLbNAHnyT-KhnXwKoLSUmPUhqBHCYmvsPWqUP1BigIbvy_pTmvc)
43. Where does this convention come from? Green = right, red = wrong. *User Experience Stack Exchange* [online]. 9 July 2015 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://ux.stackexchange.com/questions/81292/where-does-this-convention-come-from-green-right-red-wrong>
44. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. 1. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
45. FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Ivo HLAVATÝ, et al. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-63-2.
46. RATHI, Shreeneet a Nanasaheb GURULE. *Study and development of a computer assistance in selection of fatigue design recommendations for welded joints*. 2014/04/30. DOI: 10.13140/2.1.3044.7045. Seminar report. K. K. Wagh Institute of Engineering Education & Research.
47. Definition and Types of Lack of Fusion and Penetration according to BS EN ISO 6520-1. *Inspector world* [online]. 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://learnweldinginspector.blogspot.com/2016/06/definition-and-types-of-lack-of-fusion.html>
48. ČSN EN ISO 4063 (050011). Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování. 5. 2011.
49. *Ruční obloukové svařování* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33447&instance=2>
50. Obalená elektroda (MMA). *Automig - internetový magazín* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/obalena-elektroda-mma/>
51. MRŇA, Libor. *Lepení materiálů* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
52. GREGOR, Miroslav. Lepení kovů. *Lepidla.cz* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/lepeni-kovu.html>
53. STEINER, Paul. Adhesive Failure & Epoxy Failure. *The Adhesives Expert* [online]. 31 May 2011 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://theadhesivesexpert.com/adhesives-failure-epoxy-failure/>
54. Svařování elektronovým svazkem. *Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://ebt.isibrno.cz/svarovani-elektronovym-svazkem>
55. KOLÁŘÍK, Ladislav. Elektronové svařování - perspektivní metoda pro speciální materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 10.02.2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/elektronove-svarovani-perspektivni-metoda-pro-specialni-materialy.html>

56. Electron Beam Machining (EBM) Principles. *Mechanical Engineering* [online]. 3 February 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://basicmechanicalengineering.com/electron-beam-machining-ebm-principles/>
57. Manufacture - Electron beam welding (E.B.W.). *Model aircraft* [online]. 12 July 2012 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://aeromodelbasic.blogspot.com/2012/07/manufacture-electron-beam-welding-ebw.html>
58. *Plazmové svařování (navařování) - 15* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-01-15.pdf>
59. Plasma Welding Machines. *Chihshengyi automatic welding machines* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.csy-tech.com/EN/?f=Plasma-Welding-Machines>
60. POLÁŠEK, Marek. Studium závislosti geometrie koutového svaru na procesních parametrech při laserovém svařování korozivzdorné oceli. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Libor Mrňa.
61. *Nekonvenční metody svařování - laser: Svařování laserem (51)* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-03--52.pdf>
62. *Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře MIG/MAG* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33457&revision=-1&instance=2>
63. MIG Welding Guide – How to MIG Weld: How to Set Up to MIG Weld. *Kings of welding* [online]. 29 September 2017 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.kingsofwelding.com/guides/mig-welding-guide/>
64. Svařování TIG, svářečky TIG (WIG), svařovací zdroje TIG, sváření TIG, TIG svářečka. *Schinkmann* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/tig>
65. TIG welding. *Manufacturing guide* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/tig-welding>
66. KNORR – BREMSE, Door frame, Výkres svařované sestavy rámu dveří [cit. 2019-03-05].
67. Virtual Performance Solution. *ESI Group* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.esi-group.com/cz/softwareova-reseni/virtualni-realizace/virtual-performance-solution-0>
68. Eberhard Haug, Co-founder of ESI Group, speaks about the origins of PAM-CRASH, ESI's first flagship software, and recount tales of ESI's first car crash simulation for Volkswagen, in 1985. *ESI Group* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.esi-group.com/pam-crash>
69. Software pro výpočty metodou konečných prvků (MKP): Metoda konečných prvků (MKP). *Software pro navrhování a výpočty konstrukcí* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/oblasti-pouziti/software-pro-vypocty-mkp>
70. Pevnostní analýza. *Školní intranet - Střední škola technická* [online]. Opava [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: [https://sst.opava.schreier/pevnostni.cz/\\_analiza.htm](https://sst.opava.schreier/pevnostni.cz/_analiza.htm)
71. ČSN EN 14752. Železniční aplikace - Boční vstupní systémy kolejových vozidel. 2016.
72. JANDA, Petr. Modální analýza v NX. *PLM a CAx systémy* [online]. 22. března 2015 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://petr-janda.eu/numericke-analyzy/modalni-analyza-nx>
73. Co to je modální analýza. *Wkosoftware* [online]. Liberec, leden 2018 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.ekosoftware.cz/co-to-je-modalni-analyza>
74. SOCHOR, Petr. *Modální analýza bubenické paličky metodou konečných prvků*. Brno, 2014. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jan Tippner.
75. PAŠEK, Miloslav a Jakub ŘEZNÍČEK. *Statické zatížení dveří - redukce svarů: IFE - CR*. Plzeň: ESI Group - Mecas, 2019.

76. BERAN, Jaroslav. Generování sítě konečných prvků. *Katedra textilních a jednoúčelových strojů: Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci* [online]. Liberec [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: [http://www.kts.tul.cz/content/files/podklady/generovani\\_site\\_konecných\\_prvku.pdf](http://www.kts.tul.cz/content/files/podklady/generovani_site_konecných_prvku.pdf)
77. ŽDÁRSKÝ, Jiří. Vliv výpočtového modelu na přesnost numerické simulace, The Influence of the Material Model on the Numerical Simulation Accuracy. Liberec, 2012. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Pavel Solfronk.
78. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2004. ISBN 80-14-2683-7.
79. Svařovací zdroje TIG: Svařování metodou TIG. *Welding progress* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.svarovani.cz/cs/m-17-svarovaci-zdroje-tig/>
80. TIG WELDING 101: EVERYTHING YOU NEED TO KNOW ABOUT TIG WELDING. *CromWeld* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.cromweld.com/tig-welding-101/>
81. TIG (Tungsten Inert Gas Welding). *Automig: internetový magazín* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>
82. HADYNA, Daniel. Mezníky technologie TIG AC/DC pro svařování hliníku. *Svět svaru* [online]. Ostrava, , 2 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://automig.cz/fileadmin/pub/doc/pdf/V%C3%BDvoj%20TIG%20ACDC%20sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD.pdf>
83. MAŤÁTKO, Milan. *Stejnoseměrný proud: Nesamostatný výboj* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.stavskola.cz/component/sharepoint/?view=sharepoint&cid=2>
84. KUBÍČEK, jaroslav. *Technologie II: Část svařování* [online]. Brno, 2006 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te\\_technologie\\_2\\_svarovani\\_tavne\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_svarovani_tavne_kubicek.pdf)
85. WELDWELL. *Tig welding booklet* [online]. Weldwell New Zealand [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [https://www.fswelding.co.nz/site\\_files/14859/upload\\_files/tigweldingbooklet.pdf?dl=1](https://www.fswelding.co.nz/site_files/14859/upload_files/tigweldingbooklet.pdf?dl=1)
86. Pojmy a zkratky. *Svářečky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/pojmy-a-zkratky-pouzivane-v-oblasti-svarovani/t-29/t-104>
87. MILLER. *Guidelines For Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)* [online]. 2018 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/files/pdf/resources/gtawbook.pdf>
88. BLAHUTA, Ladislav. *Zdroje proudu pro svařování elektrickým obloukem I*. [online]. Havířov [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [https://www2.outech-havirov.cz/skola/files/eu\\_penize\\_skolam/dum/zks\\_mag/vy\\_32\\_inovace\\_h13-1.pdf](https://www2.outech-havirov.cz/skola/files/eu_penize_skolam/dum/zks_mag/vy_32_inovace_h13-1.pdf)
89. The Basic TIG Torch. *MIG welding* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [https://www.mig-welding.co.uk/w2/index.php?title=The\\_Basic\\_TIG\\_Torch](https://www.mig-welding.co.uk/w2/index.php?title=The_Basic_TIG_Torch)
90. Domeček kleštiny pr.2,40mm. *Petr Sobol Svářečí technika: Kvalitní servis a podpora* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://svarovani123.com/d/domecek-klestiny-pr240mm-1000834/>
91. GAS LENS 1/8 IN (3.2 MM). *Lincoln electric* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/accessories/Pages/product.aspx?product=KP2034-5B1\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/accessories/Pages/product.aspx?product=KP2034-5B1(LincolnElectric))
92. Osazení "Jumbo" s plynovou čoučkou. *Svářečky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/spotrebni-dily-pro-horaky-mig-mag-tig-plazmove/horaky-tig/rada-17-18-26-a-kompatibilni/osazeni-jumbo-s-plynovou-cockou/c-714>

93. Nu-Tec® NWC2500 Water Cooler (115/230V). *Welding direct: The online welding superstore* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://sep.yimg.com/ay/weldingdirect/nwc2500-nu-tec-174-water-cooler-welding-2500ss-bernard-3500ss-3.gif>
94. SCERBA, Jakub. Instagram post by Arc-Zone.com. *Pinterest* [online]. 2016 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/321585229633104559/>
95. BURIŠIN, Miroslav. Požadavky na umístění, provoz a obsluhu tlakových lahví. *BOZPinfo* [online]. 18.07.2012 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/pozadavky-na-umisteni-provoz-obsluhu-tlakovych-lahvi>
96. LINDE. Nové barevné značení tlakových lahví. *Linde* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://www.linde-gas.cz/cs/images/BarevneZnaceniTlakLahvi2007\\_tcm79-16200.pdf](https://www.linde-gas.cz/cs/images/BarevneZnaceniTlakLahvi2007_tcm79-16200.pdf)
97. ČSN 07 8304 (078304). Tlakové nádoby na plyny - Provozní pravidla. 5. 2011.
98. ČSN EN 1089-3 (078500). Lahve na přepravu plynů - Označování lahví na plyny (vyjma LPG) - Část 3: Barevné značení. 3. 2012.
99. *Norbertovy bomby: Prodej výčepních a technických plynů* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://bomby.cz/>
100. Redukční ventil: CO2/Argon+malý průtokoměr Dynareg. *Petr Sobol Svářečí technika: Kvalitní servis a podpora* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://svarovani123.com/redukn-ventil-co2/argon-mal-prtokomr/?section=question>
101. Redukční ventil Dynareg - Kyslík. *Petr Sobol Svářečí technika: Kvalitní servis a podpora* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://svarovani123.com/d/redukcni-ventil-dynareg-kyslik-1000889/>
102. Druhy a použití W-elektrod: Jaké jsou rozdíly mezi wolframovými elektrodami? Jakou elektrodu použít? Jaký zvolit průměr elektrody?. *Svářečky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/druhy-a-pouziti-wolframovych-elektrod/t-30/t-107>
103. OTEN, Mage. Tungsten electrode color chart. *Ayucar: About Chart and Essay* [online]. 15. 10. 2018 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://ayucar.com/dHVuZ3N0ZW4tZWxlY3Ryb2RILWNvbG9yLWNoYXJ0/>
104. Kvalifikace postupů svařování. *DOM - ZO 13, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.domzo13.cz/inspekce/kvalifikace-wpqr.html>
105. BALEJ, Zdeněk, Jan OPLETAL a Vladimír KUDĚLKA. Používání WPS, WPQR při svařování i BPS, BPAR při pájení v praxi. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 10.12.2016 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/pouzivani-wps-wpqr-pri-svarovani-i-bps-bpar-pri-pajeni-v-praxi/>
106. KUDĚLKA, Vladimír. Stanovení a kvalifikování postupů svařování (WPS) kovových materiálů - Dokladování - Protokoly - WPQR. *Česká svářečská společnost ANB: Czech Welding Society ANB* [online]. 20.4.2006 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=36>
107. WPS, jak na ně ? - I. *Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 12. 03. 2006 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006031201>
108. Kvalifikace WPQR dle ISO 15614-1 až 14. *Vaněk welding s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.vanek-welding-s-r-o.cz/iso-15614-1-az-14-kvalifikace-wpqr/>
109. Tetrix 300 AC/DC Comfort 2.0 puls 5P TM. *EWM: We are welding* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [https://www.ewm-sales.com/cs/Svarovaci\\_pristroje\\_WIG/Tetrix\\_AC\\_DC/Tetrix\\_300\\_AC\\_DC\\_Comfort\\_2\\_0\\_puls\\_5P\\_TM--090-000235-00502.html](https://www.ewm-sales.com/cs/Svarovaci_pristroje_WIG/Tetrix_AC_DC/Tetrix_300_AC_DC_Comfort_2_0_puls_5P_TM--090-000235-00502.html)



110. EWM. Multimatrix: Dokonalost jako princip. *Centrum svářecí techniky* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.svarecky.info/data/dokumenty/prospekty/ewm/multimatrix/ewm-multimatrix-cs.pdf>
111. Kalkulace cen v podniku. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=54540](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=54540)
112. Svářeč (výdělky až 47.000 Kč). *Job contact* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://jobscontact.cz/nabidky-prace/3477/svarec-vydelky-az-47-000-kc?phrase=sv%C3%A1%C5%99e%C4%8D&specIds%5B0%5D=12&locIds%5B0%5D=2>
113. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
ADR	Příplatek za přepravu nebezpečných věcí	[Kč]
CAD	Computer aided design	[-]
$C_{BPR}$	Cena 5 kg přídavného materiálu	[Kč]
$C_{ee}$	Cena za 1 MWh el. energie	[Kč]
$C_{OP1}$	Cena spotřebovaného ochranného plynu pro aktuální variantu	[Kč]
$C_{OP2}$	Cena spotřebovaného och. plynu pro nově navrhnutou variantu	[Kč]
$C_{PM1}$	Cena spotřebovaného př. mat. pro aktuální variantu	[Kč]
$C_{PM2}$	Cena spotřebovaného př. mat. pro nově navrhnutou variantu	[Kč]
$C_{See2}$	Cena spotřebované el. energie pro nově navrhnutou variantu	[Kč]
$C_{SV}$	Cena svazku bez dopravy	[Kč]
$C_{SV1}$	Cena svařovací práce pro aktuální variantu	[Kč]
$C_{SV2}$	Cena svařovací práce pro nov navrhnutou variantu	[Kč]
$C_{TPR}$	Cena 1 ks přídavného materiálu	[Kč]
EBW	Electron beam welding	[-]
FEM	Finite element method	[-]
FSW	Friction stir welding	[-]
HSS	High speed steel	[-]
MIG	Metal inert gas	[-]
MKP	Metoda konečných prvků	[-]
MMA	Manual metal arc	[-]
$m_{TPR}$	Naměřená hmotnost 1 ks přídavného materiálu	[g]
$M_z$	Hrubá hodinová mzda svářeče	[Kč]
$N_{DLAr}$	Náklady na litr argonu včetně dopravy	[Kč]
$N_{DLHe}$	Náklady na litr helia včetně dopravy	[Kč]
$N_{SHe}$	Náklady na svazek helia včetně dopravy	[Kč]
$O_{He}$	Objem svazku helia	[l]
PAW	Plasma arc welding	[-]
pWPS	Preliminary welding procedure specification	[-]
$R_O$	Cena za rozvoz svazku	[Kč]
$S_{ee1}$	Spotřeba el. energie pro aktuální variantu	[MWh]
$S_i$	Silniční příplatek na svazek	[Kč]
$S_{OP1}$	Spotřeba ochranného plynu pro aktuální variantu	[l]
$S_{PM1}$	Spotřeba přídavného materiálu pro aktuální variantu	[ks]
$S_{PM2}$	Spotřeba přídavného materiálu pro nově navrhnutou variantu	[ks]
STL	Standart template library	[-]
TIG	Tungsten inert gas	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
$t_{sč1}$	Svařovací čas pro aktuální variantu	[h]
$t_{sč2}$	Svařovací čas pro nově navrhnutou variantu	[h]
WIG	Wolfram inert gas	[-]
WPQR	Welding procedure qualification report	[-]
WPS	Welding procedure specification	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dveřní systém [2] .....	9
Obr. 2 Skelet vlaku [3] .....	9
Obr. 3 Simulační program [4] .....	9
Obr. 4 Svařovací proces [5].....	9
Obr. 5 Dveřní rám [6].....	10
Obr. 6 Deformace součásti před / po svařovacím cyklu [8] .....	10
Obr. 7 IFE CR [9] .....	10
Obr. 8 Prvky a funkce moderních dveřních systémů [10].....	11
Obr. 9 Spotřeba hliníku v průmyslu v kt [16] .....	12
Obr. 10 Fázový diagram systému Al-Mg <sub>2</sub> Si [13]; [36].....	14
Obr. 11 Změny v mřížce během tepelného zpracování [37] .....	14
Obr. 12 Vliv doby stárnutí na pevnost a tvrdost materiálu [36].....	15
Obr. 13 Vliv obsahu Mg a Si na rozpouštěcí teplotu [24].....	15
Obr. 14 Vliv podílu Mg + Si na kritickou rychlost ochlazení [24] .....	15
Obr. 15 Přídavný materiál [31].....	16
Obr. 16 Svařenec pro vzorky.....	17
Obr. 17 Rozměry svařených plechů [32].....	17
Obr. 18 Vzorek pro tahovou zkoušku .....	18
Obr. 19 Řezný proces s použitými pomůckami .....	18
Obr. 20 Upnutí plechů při vrtání .....	18
Obr. 21 Proces frézování řezaných ploch.....	19
Obr. 22 Proces frézování vybrání .....	19
Obr. 23 Připravený vzorek pro tahovou zkoušku.....	19
Obr. 24 Tahový diagram .....	20
Obr. 25 Přetržený vzorek.....	20
Obr. 26 ZD40/400kN .....	20
Obr. 27 Svar s/bez oxidické vrstvy [41], [43] .....	21
Obr. 28 Vliv obsahu leg. prvků k tvoření trhlin za tepla [13].....	21
Obr. 29 Solidifikační trhlina [41] .....	21
Obr. 30 Rozpustnost vodíku v hliníku v závislosti na teplotě [45] .....	22
Obr. 31 Póry ve svarovém spoji [46] .....	22
Obr. 32 Studený spoj [47] .....	22
Obr. 33 Změna pevnosti a tvrdosti dle vzdálenosti od osy svaru [17] .....	23
Obr. 34 Změna struktury v TOO [17] .....	23
Obr. 35 MMA [50] .....	24
Obr. 36 Typy spojů [53] .....	24
Obr. 37 Typy namáhání [53] .....	25
Obr. 38 EBW [56] .....	25
Obr. 39 Porovnání svaru zhotoveného metodou EBW a TIG [57] .....	25
Obr. 40 PAW [59] .....	26
Obr. 41 Robotický manipulátor s laserovou hlavou.....	26
Obr. 42 Schéma MIG zařízení pro svařování [63] .....	27
Obr. 43 TIG [65] .....	27
Obr. 44 Redukce svarů [66] .....	28
Obr. 45 Logo ESI Group [65] .....	29
Obr. 46 Crash test VW [68].....	29
Obr. 47 Lokace zatížení dle ČSN EN 14752 [71].....	30
Obr. 48 Znázornění střední plochy v CAD modelu [75].....	30
Obr. 49 Řezy jednotlivými profily s barevným odlišením dle tloušťky [75] .....	31

Obr. 50 Montované díly a jejich spojení s dveřním rámem [75].....	31
Obr. 51 Materiálové zastoupení modelu [75].....	32
Obr. 52 Zadané materiálové veličiny .....	32
Obr. 53 Síť (mesh).....	32
Obr. 54 Okrajové podmínky a zatížení [75].....	33
Obr. 55 Realizace propojení profilů [75] .....	33
Obr. 56 Značení svarů v softwaru VPS [75] .....	33
Obr. 57 Rozdělení pozic dveřního rámu [66].....	34
Obr. 58 Výstupu ze simulace statického zatížení [75] .....	35
Obr. 59 Výčet redukovaných svarů u varianty 011 [75] .....	36
Obr. 60 Výčet redukovaných svarů u varianty 012 [75] .....	36
Obr. 61 Bezpečnostní doraz (rolna) [75].....	37
Obr. 62 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 010 .....	38
Obr. 63 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 011 .....	39
Obr. 64 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 012 .....	40
Obr. 65 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 013 .....	41
Obr. 66 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 014 .....	42
Obr. 67 Kontura napětí s barevnou škálou varianty 015 .....	43
Obr. 68 Schéma svařování metodou TIG s popisem jednotlivých komponentů [81] .....	45
Obr. 69 Popis elektrického oblouku [25] .....	46
Obr. 70 Zvýšený čistící efekt svař. proudu [82].....	46
Obr. 71 Vliv polarity na rozměr a tvar svaru [25].....	47
Obr. 72 Svařovací zdroj / invertor [82] .....	48
Obr. 73 Vliv strmé a ploché charakteristiky na kolísání I [88] .....	49
Obr. 74 Díly svařovacího hořáku [89].....	49
Obr. 75 Standartní domeček kleštiny [90].....	50
Obr. 76 Plynová čočka [91].....	50
Obr. 77 Porovnání proudění ochranného plynu z hubice s a bez plynové čočky [92] .....	50
Obr. 78 Chladicí komora [94] .....	51
Obr. 79 Nejdůležitější části vodního chlazení [93] .....	51
Obr. 80 Barevné značení vybraných lahví [99].....	53
Obr. 81 Red. ventil s výstupním manometrem a plovákovým průtokoměrem [100; 101].....	53
Obr. 82 Barevné značení el. [103].....	54
Obr. 83 Vliv vrcholového úhlu elektrody na svarovou lázeň [25] .....	56
Obr. 84 Cesta od vystavení pWPS až po uvolnění WPS [104] .....	56
Obr. 85 EWM Tetrix 300 [109].....	57
Obr. 86 Systémové prostředí softwaru ewm Xnet .....	58
Obr. 87 Svařovací přípravek pro svařování dveřního rámu .....	58
Obr. 88 Bodový svar na profilech dveřního rámu.....	59
Obr. 89 Roh G stávajícího dveřního rámu před a po svaření .....	59
Obr. 90 Označení pozic redukovaných svarů.....	60
Obr. 91 Reálná zatěžovací stolice .....	60
Obr. 92 Monitor se svařovacím postupem .....	61



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní vlastnosti a jejich dopad na provoz vlakových souprav [11] .....	11
Tab. 2 Základní vlastnosti hliníku [15] .....	12
Tab. 3 Rozdělení slitin hliníku podle normy EN 573-1 [13].....	13
Tab. 4 Vliv legujících prvků ve slitině AlMgSi [17] .....	13
Tab. 5 Chemické složení slitiny EN AW 6060 [18; 19] .....	13
Tab. 6 Fyzikální a mechanické vlastnosti za teploty 20 °C [20]; [21] .....	14
Tab. 7 Mech. vlastnosti EN AW 6060 T66 [19; 23] .....	15
Tab. 8 Chemické složení přídatného materiálu S Al 5087 [27], [30].....	16
Tab. 9 Fyzikální vlastnosti přídatného materiálu S Al 5087 [27] .....	16
Tab. 10 Mech. vlast. přídatného mat. S Al 5087 [27; 30] .....	16
Tab. 11 Výsledky tahové zkoušky .....	20
Tab. 12 Výstupy ze simulace modální analýzy [75] .....	34
Tab. 13 Kódové označení a popis jednotlivých variant .....	36
Tab. 14 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 010 .....	38
Tab. 15 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 010 .....	38
Tab. 16 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 010 .....	38
Tab. 17 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 011 .....	39
Tab. 18 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 011 .....	39
Tab. 19 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 011 .....	39
Tab. 20 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 012 .....	40
Tab. 21 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 012.....	40
Tab. 22 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 012 .....	40
Tab. 23 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 013 .....	41
Tab. 24 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 013.....	41
Tab. 25 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 013 .....	41
Tab. 26 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 014 .....	42
Tab. 27 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 014.....	42
Tab. 28 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 014 .....	42
Tab. 29 Hodnoty posunutí v měřících bodech varianty 015 .....	43
Tab. 30 Hodnoty ze simulace statického zatížení varianty 015.....	43
Tab. 31 Hodnoty ze simulace modální analýzy varianty 015 .....	43
Tab. 32 Shrnuté výsledky hodnot posunutí v měřících bodech všech variant .....	44
Tab. 33 Shrnuté výsledky hodnot ze simulace statického zatížení všech variant .....	44
Tab. 34 Shrnuté výsledky hodnot ze simulace modální analýzy všech variant .....	44
Tab. 35 Výhody a nevýhody jednotlivých polarit [85] .....	47
Tab. 36 Srovnání plynů argonu, helia a jejich směsi na svařovací vlastnosti [87].....	52
Tab. 37 Označení, barva a leg. prvek wolf. el. [102] .....	54
Tab. 38 Doporučené rozsahy proudu v závislosti na průměru elektrody [25] .....	55
Tab. 39 Srovnání aktuální a nově navržené varianty .....	62

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkresová dokumentace rámu dveří [6]
- Příloha 2 Materiálový list slitiny hliníku EN AW 6060 dle ČSN EN 573-3 [18]
- Příloha 3 Certifikát 3.1 materiálu EN AW 6060 [19]
- Příloha 4 Protokol o zkoušce tahem materiálu EN AW 6060 T66 [23]
- Příloha 5 Protokol o zkoušce tahem svařence EN AW 6060 T66 + AlMg4,5MnZr [26]
- Příloha 6 Atest přídavného materiálu AlMg4,5MnZr [30]
- Příloha 7 Protokol hydraulického zkušebního stroje ZD40/400kN
- Příloha 8 Prostředí software M-TEST v1.7 s naměřenými hodnoty
- Příloha 9 Výkres svařované sestavy rámu dveří s kódovým označením 010 a 013 [66]
- Příloha 10 Výkres svařované sestavy rámu dveří s kódovým označením 011 a 014 [66]
- Příloha 11 Výkres svařované sestavy rámu dveří s kódovým označením 012 a 015 [66]
- Příloha 12 WPS 2,5HY/141/AW6060/5-6
- Příloha 13 WPS 3FW/141AW6060/3
- Příloha 14 WPS 3HV/141/AW6060/3
- Příloha 15 Technické parametry svařovacího zdroje EWM Tetrix 300

**Příloha 2 Materiálový list slitiny hliníku EN AW 6060 dle ČSN EN 573-3 [18]**

1 / 3

ČSN EN 573 STN EN 573 TŘÍDICÍ ZNAK 42 1401				Slitina hliníku tvářená pro všeobecné účely				SLITINA EN AW-6060 [AlMgSi]		
Chemické složení [hm. %]										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní		Al
								jednotl.	celkem	
0,30–0,60	0,10–0,30	0,10	0,10	0,35–0,60	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15	zbytek
Polotovary										
[1] tenké plechy pro výměníky tepla				ČSN EN 683-1		1*)				
				ČSN EN 683-2(42 4084)		2)				
				ČSN EN 683-3		3*)				
[2] tyče a trubky tažené za studena				ČSN EN 754-1		1)				
				ČSN EN 754-2(42 4085)		2)				
				– tyče kruhové		ČSN EN 754-3 3*)				
				– tyče čtvercové		ČSN EN 754-4 3*)				
				– tyče ploché		ČSN EN 754-5 3*)				
				– tyče šestihranné		ČSN EN 754-6 3*)				
				– trubky bezešvé		prČSN EN 754-7 3*)				
				– trubky lisované komorovou matricí		prČSN EN 754-8 3*)				
[3] lisované tyče, trubky a profily				ČSN EN 755-1(42 1419)		1)				
				ČSN EN 755-2(42 4086)		2)				
				– tyče kruhové		ČSN EN 755-3(42 7511) 3)				
				– tyče čtvercové		ČSN EN 755-4(42 7521) 3)				
				– tyče ploché		ČSN EN 755-5(42 7525) 3)				
				– tyče šestihranné		ČSN EN 755-6(42 7531) 3)				
				– trubky bezešvé		prČSN EN 755-7 3*)				
				– trubky lis. komor. matricí		prČSN EN 755-8 3*)				
				– profily		prČSN EN 755-9 3*)				
[4] tažené dráty				ČSN EN 1301-1(42 1418)		1)				
				ČSN EN 1301-2(42 4087)		3)				
				ČSN EN 1301		3)				

**Mechanické vlastnosti**

Polotovár	[1]				
Rozměr t [μm]	80–200	80–200	80–200	80–200	
Stav	0	H14	H18	H19	
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	max 80	110	150	180	
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	80–140	110–160	160	200	
Tažnost A <sub>50</sub> nebo A <sub>100</sub> [%]	11	2	1	1	
Tvrdost HV	–	–	–	–	
Polotovár	tyče [2]		trubky [2]		
Rozměr D, S, e [mm] <sup>4)</sup>	D, S ≤ 80		e ≤ 5	5 < e ≤ 20	e ≤ 20
Stav <sup>5)</sup>	T4	T6	T4		T6
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	65	160	65		160
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	130	215	130		215
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	13 (15)	10 (12)	10 (12)	13 (15)	10 (12)
Tvrdost HB	–	–	–		–
Polotovár	tyče [3]				
Rozměr D, S [mm] <sup>4)</sup>	≤ 150			≤ 50	≤ 150
Stav <sup>5)</sup>	T4	T5	T6	T64 <sup>6)</sup>	T66
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	60	120	150	120	160
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	120	160	190	180	215
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	14 (16)	6 (8)	6 (8)	10 (12)	6 (8)
Tvrdost HB	–	–	–	–	–
Polotovár	trubky [3]				
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤ 15				
Stav <sup>5)</sup>	T4	T5	T6	T64 <sup>6)</sup>	T66
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	60	120	150	120	160
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	120	160	190	180	215
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	14 (16)	6 (8)	6 (8)	10 (12)	6 (8)
Tvrdost HB	–	–	–	–	–
Polotovár	profily [3]				
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤ 25	≤ 5	5–25	≤ 3	3–25
Stav <sup>5)</sup>	T4	T5	T5	T6	T6
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	60	120	100	150	140
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	120	160	140	190	170
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	14 (16)	6 (8)	6 (8)	6 (8)	6 (8)
Tvrdost HB	–	–	–	–	–



Polotovár	profily [3]				
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤ 15	≤ 3	3–25		
Stav <sup>5)</sup>	T64 <sup>6)</sup>	T66	T66		
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	120	160	150		
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	180	215	195		
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	10 (12)	6 (8)	6 (8)		
Tvrlost HB					
Polotovár	[4]				
Rozměr d [mm]	≥ 6	< 6	≤ 20	≤ 20	< 6
Stav <sup>7)</sup>	T39	T39	T4	T6	T89
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa] <sup>8)</sup>	–	–	90	160	–
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	220	270	140	210	260
Tažnost A <sub>100</sub> [%] <sup>8)</sup>	–	–	13	–	–
Tvrlost HB	–	–	–	–	–

### Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
AlMgSi	ISO 209-1	–	–	AlMgSi0,5	DIN 1725 T.1
Francie		Velká Británie		Rusko	
6060	NF A50-411	6061	BS 1474	–	–
USA		Japonsko		Kanada	
6061	ASTM B221M	–	–	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
P-AlMg0,5Si0,4Fe	UNI 9006/1	AlMgSi0,5	ÖNORM M3430	AlMgSi	SS 144103
Polsko		Maďarsko		Norsko	
–	–	–	–	–	–
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
AlSi1MgPb	SFS 2594	–	–	Al-0,5MgSi	UNE 38350
Belgie		–		–	
6060	NBN P21-001	–	–	–	–

### Poznámky

<sup>1)</sup> technické dodací předpisy

<sup>1\*)</sup> připravovaná norma ČSN EN

<sup>2)</sup> mechanické vlastnosti

<sup>3\*)</sup> připravovaná norma ČSN EN

<sup>3)</sup> mezní úchytky tvaru a rozměrů

pr připravovaná norma EN

<sup>4)</sup> D = průměr kruhové tyče nebo vnější průměr trubky, S = tloušťka čtvercové, šestihranné nebo ploché tyče, e = tloušťka stěny trubky nebo profilu

<sup>5)</sup> vlastnosti mohou být získány kalením za matricí

<sup>6)</sup> vhodné k ohybu

<sup>7)</sup> mechanické vlastnosti jsou ovlivněny nejen tepelným zpracováním, ale také průměrem drátu a metodou tažení, a proto jsou hodnoty R<sub>p</sub> 0,2 a A<sub>100</sub> jen informativní

<sup>8)</sup> mechanické vlastnosti ve stavech T39 a T89 jsou závislé na stupni tváření za studena resp. na podmínkách stárnutí, a proto se doporučuje, aby byly dohodnuty mezi dodavatelem a odběratelem

V chemickém složení je zpravidla uváděn maximální přijatelný obsah nebo rozmezí přijatelného obsahu každého prvku. V mechanických vlastnostech je zpravidla uváděna minimální přijatelná hodnota nebo rozmezí přijatelných hodnot každé vlastnosti.

# Abnahmeprüfzeugnis 3.1 gemäß EN 10204

Hammerer Aluminium Industries Extrusion GmbH



## Inspection certificate 3.1

Nr.: 8680867542

Rev. 0

Seite / page: 1 von / of 1

Datum / date: 2018 10 02

Zertifiziert nach / certified to IATF16949, ISO/TS 22163, ISO 14001

<b>Auftraggeber / orderer:</b> IFE-CR, a.s. Evropská 839 66442 Modrice Czech Republic <b>Warenempfänger / consignee:</b> IFE-CR, a.s. Evropská 839 66442 Modrice Czech Republic	Bestell Nr. / order no.:	4540622301
	Datum / date:	2018 10 26
	Auftragsbest. Nr. / order confirmation	6032297
	Datum / date:	2018 09 03
	Lieferschein Nr. / delivery note:	8680867542
	Datum / date:	2018 10 02
CE 0780-CPD-92038 EN15088		

AB-Pos. conf.-pos.	FA-Nr. prod.-no.	Materialnr. item no.	Kunden Artikel customer item	Profilnr. part no.	Werkst. material	Zustand temper	Guss no. cast no.
1	40621698	94138180		K40150	6060	T6602	2218190183

Chemische Zusammensetzung / chemical composition: [%] Gewichtsanteile / weight proportion - EN 573									
EN AW-6060	Si[%]	Fe[%]	Cu[%]	Mn[%]	Mg[%]	Cr[%]	Ni[%]	Zn[%]	Ti[%]
Min.	0,30	0,10			0,35				
Max.	0,6	0,30	0,10	0,10	0,6	0,05		0,15	0,10
2218190183	0,42	0,19	<0,01	0,05	0,42	<0,01		<0,01	0,01

Achtung!

Rundungsregel bei Nachkommastellen nach EN 573-3 beachten!

Ist der SOLL-Wert mit einer Kommastelle angegeben und der IST-Wert mit zwei Kommastellen, gilt die Rundungsregel. Beispiel: SOLL 0,6%; IST 0,62% = Wert ist innerhalb Toleranz

## Zugversuch nach / tensile test by DIN EN ISO 6892-1

FA-Nr. production	Zustand temper	Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
	Min.	150	195	8,0
	Max.			
40621698	T6602	213	233	14,2

## Bemerkungen / notes

Wir garantieren, dass unser Material frei von radioaktiver Strahlung ist

Es wird bestätigt, dass die Lieferung geprüft wurde und den Vereinbarungen bei der Bestellung entspricht.

We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order contract.

Produktionsstätte production plant	Werkssachverständiger factory specialist	Telefon telephone	Fax fax	E-Mail e-mail
HAI extrusion	Duft Kurt	+43(7722)891-3565	+43(7722)891-444	kurt.duft@hai-aluminium.at

Maschinell erstellt - Gültig ohne Unterschrift / automated - valid without being signed.



L 1060



TUV NORD Czech, s.r.o.  
Laboratoře a zkušební Brno  
Zkušební laboratoř č. 1060 akreditovaná ČIA  
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005  
Olomoucká 7/9  
618 00 BRNO

Datum: Datum: Date:	27.03.2019	Strana: Seite: Page:	1/2
Protokol č.: Protokoll-Nr.: Report No.:	372/2019	Počet výtisků Anzahl d. Exempl.: Copies:	1

## PROTOKOL O ZKOUŠCE Prüfprotokoll / Test Report

Vzorek dodán dne: Probe eingeliefert am: The sample arrived on:	25.03.2019	Datum ukončení zkoušky: Datum der Beendigung der Prüfung: Date of ending of the test:	27.03.2019
Zákazník: Kunde: Customer:	IFE-CR a.s., Evropská 839, 664 42 Modřice		
Vzorek: Probe: Sample:	Plech / plate 3 mm; materiál / material: EN AW 6060		
Zkušební metoda / druh zkoušení: Prüfverfahren / Prüfungsart: Test method / Type of testing:	LPP 18 – Zkouška tahem / Tensile test (ČSN EN ISO 6892-1)		

Předpisy a specifikace, které nejsou  
předmětem akreditace:

Vorschriften u. Spezifikationen, die der Gegenstand des  
Sechgebietes der Akkreditierung nicht sind:

Regulations and specifications, which are not subject  
to accreditation:

  
Ing. Kateřina Hrubá  
Vedoucí Laboratoří a zkušeben Brno  
Leiterin des Laboratorien und Prüfstellen Brunn  
Head of Laboratories and Testing Laboratories Brno  
Tel.: +420 545 110 125



### Prohlášení – Erklärung – Statement

- Výsledky zkoušek uvedených v tomto protokolu se týkají pouze zkoušených předmětů.

Die in diesem Protokoll aufgeführten Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände.  
Test results mentioned in this report refer to the tested specimens only.

- Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak, než celý.

Die auszugsweise Vervielfältigung dieses Protokolls ist ohne schriftliche Genehmigung der Prüfstelle nicht gestattet.  
The report shall not be reproduced without the prior written permission of the testing laboratory.

T:\Protokoly\Protokoly 2019\372 IFE-CR.doc  
Rev. 1, 05.2007



Protokol o zkoušce  
Mechanická zkoušení

Prüfprotokoll  
Mechanische Prüfungen

Test Report  
Mechanical Testing

Protokol č. - Průběh č. - Report No.:										372/2019		Strana: 2/2		Typ zkoušebního vzorku Probentart Type of tested sample:		opracovaná bearbeitet machined bar									
Označení Bezeichnung Specification		Tavba č. Schmelze Nr. Heat No.		Rozměry zkoušebního vzorku Probenabmessung Dim. of specimen										Záření Strahlung Radiation		Znížení Zugbrüche Reduction		Táhnost Dehnung Elongation		Poznámka Bemerkung Note					
Před přetržením Vor dem Bruch Before pulling - apart				Před přetržením Vor dem Bruch Before pulling - apart		Po přetržení Nach dem Bruch After pulling - apart		Po přetržení Nach dem Bruch After pulling - apart		Poloha vzorku Probenlage Position		Teplota zkoušek Prüftemperatur Test temperature		Záření na mezi křivu Belastung an der Streckgrenze Load at yielding		Záření na mezi pevnosti Belastung an der Streckgrenze Load at strength		Mezi křivu Streckgrenze Yield strength		Pevnost v tahu Zugfestigkeit Tensile strength					
				d <sub>0</sub>	b <sub>0</sub> x a <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>	b <sub>0</sub> x a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>u</sub>	mm	mm	mm	mm	°C	F <sub>e</sub>	N	F <sub>m</sub>	N	R <sub>0,2</sub>	MPa	R <sub>m</sub>	MPa	Z	%	A <sub>50</sub>
372				-	20,15 x 3,00	60,5	80,00	90,02	-	20	12 119	13 517	200,5	223,6	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-
Plech / plate 3 mm - 1				-	20,15 x 3,00	60,5	80,00	90,02	-	20	12 119	13 517	200,5	223,6	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-	12,5	-
Plech / plate 3 mm - 2				-	20,09 x 3,00	60,3	80,00	89,20	-	20	12 091	13 590	200,6	225,5	-	11,5	-	11,5	-	11,5	-	11,5	-	11,5	-

Vedoucí Mechanické zkušebny: Ing. Lukáš Čeněk  
Leiter der Mechanischen Prüfstelle  
Head of Mechanical testing laboratory

218

Příloha 5 Protokol o zkoušce tahem svařence EN AW 6060 T66+AlMg4,5MnZr [26]

1 / 1

Protokol č. - Protokoll-Nr. - Report No.: 266-2/2019										Strana: 4/5		Typ zkušební vzorku Probant Type of tested sample:		opracovaná bearbeitet machined bar		
Označení Bezeichnung Specification	Tavba č. Schmelze Nr. Heat No.	Rozměry zkušební vzorku Probenabmessung Dim. of specimen						Zařízení na mezi křuhu Belastung an der Streckgrenze Load at yielding		Zařízení na mezi pevnosti Hochzugversuch Load at strength		Pevnost v tahu Zugfestigkeit Tensile strength	R <sub>m</sub> MPa	Z <sub>u</sub> Einrichtung Reduction %	A <sub>5</sub> Dehnung Elongation %	Poznámka Bemerkung Note
		Před přetržením vor dem Bruch Before pulling - apart		Po přetržení nach dem Bruch After pulling - apart		Po přetržení Nach dem Bruch After pulling - apart	Poloha vzorku Probenlage Position	Teplota zkoušek Prüftemperatur Test temperature								
		d <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> x a <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm	L <sub>0</sub> mm				L <sub>g</sub> mm							
266-2		d <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> x a <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm	L <sub>0</sub> mm	L <sub>g</sub> mm		F <sub>0.2</sub> N	F <sub>m</sub> N	R <sub>0.2H</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa					
Plech / plate 3 mm - 1		-	25,03 x 3,01	75,3	-	-	20	-	9 343	-	-	124,0	-	-	-	ZM / BM
Plech / plate 3 mm - 2		-	25,09 x 2,85	71,5	-	-	20	-	9 267	-	-	129,6	-	-	-	ZM / BM
Zkoušeno v souladu s / testing according to *ČSN EN ISO 15614-2 článek / article 7.4.2																
*Není předmětem akreditace / not subject to accreditation																



voestalpine Böhler Welding

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

Unionstr. 1 | D-59067 Hamm  
Postfach 2551 | D-59015 Hamm  
www.voestalpine.com/welding

Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

Evropska 423/178  
16100 PRAHA 6-Vokovice  
Tschechische R.

## Werkszeugnis 2.2

## Test Report 2.2

nach / as per : EN 10204

Nr. No. : 2015-2081002684-900015-003

Rev. 0

Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4502288721	vom / of 20.07.2015
Auftrags-Nr.	Order no.	1081001358	
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	2081002684/000130/900015	vom / of 20.07.2015
Produkt	Product	WIG-Stab/-Draht / GTAW rod/wire	350009
Handelsname	Trade name	UNION ALMG 4,5 MNZR	72415
Normbezeichnung	Standard designation	AWS A5.10: ER5183(mod.)	3450570W
		EN ISO 18273 - S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	0019
Abmessung	Dimension	2,4 x 1000 mm	
Charge	Heat no.	5870155170	
Liefermenge	Quantity	85,0 KG	

## Chemische Analyse in % des Produktes

## Chemical composition in % of the product

Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Zr	Mg	Zn	Be				
0,02	0,8	0,07	< 0,01	0,11	94,1	0,09	0,12	4,6	< 0,01	0,0003				

## Mechanische Gütewerte

## Mechanical properties

Zugversuch		Tensile test					
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks
20°C	≥ 125		≥ 275	≥ 16			

Ort / Town  
HammDatum / Date  
21.07.2015Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.Abnahmebeauftragter / Authorized representative  
Stein

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

### Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

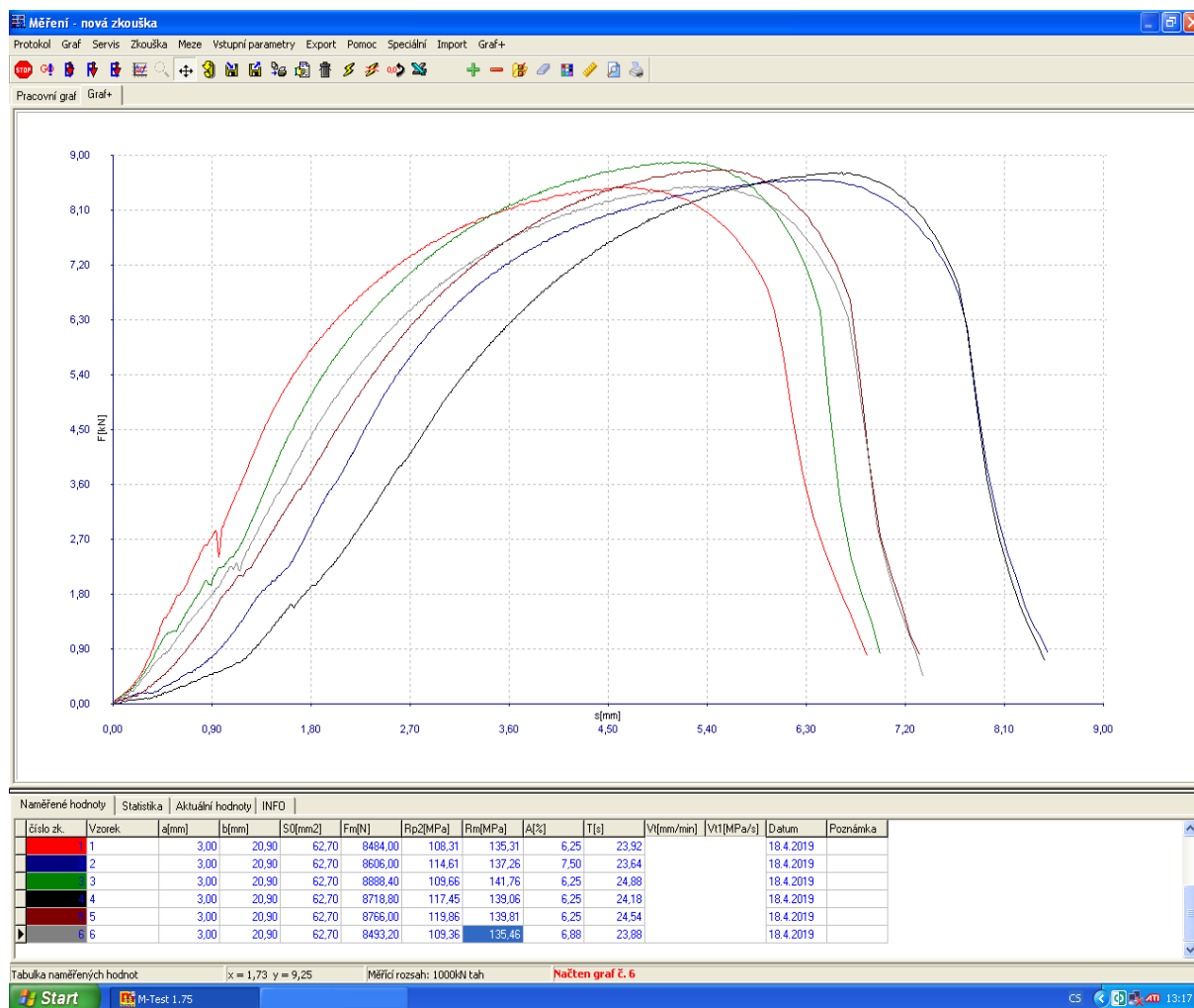
Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj.  $\pm 1 \%$  odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy:  $\pm 0,01$  mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.

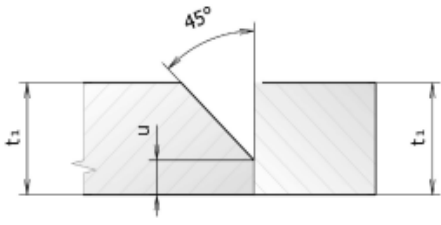
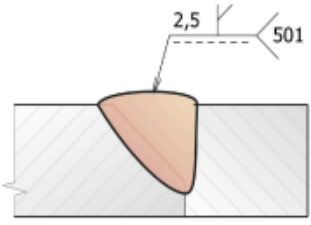


Řídicí jednotka EDC 60



	Pokyny pro svařování (WPS)	Číslo WPS: Rev.
	2,5HY/141/AW6060/5-6	01-2,5HY-DPL
Strana 1 od 1		

Místo:	IFE CR a.s.	Zkoušející nebo zkušebna:	Vratislav Chaloupka
Číslo WPQR:	08/2011/022	Způsob přípravy a čištění:	mechan. opracování
Kvalifikace svářeče:	ISO 9606-2	Opracování kořenové vrstvy:	žádný
Svařovací proces:	(WIG)	Specifikace základního materiálu:	Č. skupiny ISO TR 15608:
Druh svaru:	Tupý svar	1) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Zákazník:	IFE CR a.s.	2) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Číslo zakázky:	141	Tloušťka materiálu:	5,0-6,0 mm
Číslo výkresu:		Vnější průměr:	
Číslo dílu:		Poloha svařování:	PA

Rozměry:	Geometrie spoje	Postup svařování
$t = 5,0 - 6,0 \text{ mm}$ $h \geq 0,8t$ ( $h = t-u$ ) $\beta = 45^\circ$ $u \leq 0,2t$		
Poznámka:		

## Detaily pro svařování

	Vrstva svaru	Proces	Ø přídavného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/cm]
A)	nová vrstva	141	2,4	Základ Impuls	180 A 160 A	14,5	~	20	4,44

## Přídavný materiál / svařovací prášek

## Zvláštní předpisy pro sušení

	Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]
A)	S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	Union AlMg4,5MnZr	Böhler		

## Ochranný plyn

	Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]
A)	Svařování: I3 - ArHe-30	VARIGON He30	Linde Gas	13-15	1	3

## Další informace

	Parametry / hodnota
A)	Typ wolframové elektrody: WC 20 Ø wolframové elektrody: 2,4 mm

Rozkryv: Přímochará housenka  
 Teplota předehřátí [°C]:  
 Mezivrstevná teplota [°C]:

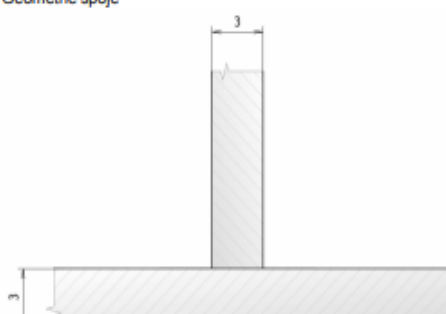
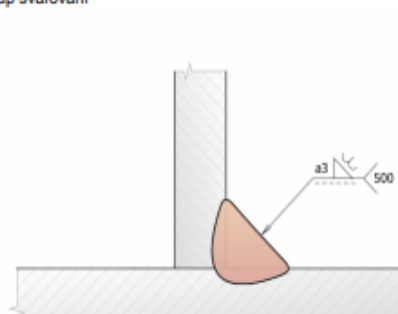
## Poznámka:

Hodnoty svařování upravovat ruční pulzací na hořáku. Překročení hranice základního proudu je nepřipustné.

Datum / vyhotovil:	Datum / zkontroloval:	Datum / schválil:
25.3.2019 Jan Šplíchal	25.3.2019 Vratislav Chaloupka	25.3.2019 Vratislav Chaloupka
Podpis	Podpis	Podpis

	Pokyny pro svařování (WPS)	Číslo WPS: 01-3FW-DPL
	3FW/141/AW6060/3	Rev.
		Strana 1 od 1

Místo:	IFE CR a.s.	Zkoušející nebo zkušebna:	Vratislav Chaloupka
Číslo WPQR:	200/02/2010; 05/2011/0020	Způsob přípravy a čištění:	mechan. opracování
Kvalifikace svářeče:	EN ISO 9606-2	Opracování kořenové vrstvy:	žádný
Svařovací proces:	(WIG)	Specifikace základního materiálu:	Č. skupiny ISO TR 15608:
Druh svaru:	Koutový svar	1) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Zákazník:	IFE CR a.s.	2) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Číslo zakázky:	141	Tloušťka materiálu:	3 mm
Číslo výkresu:		Vnější průměr:	
Číslo dílu:		Poloha svařování:	PB

Rozměry: t1 - 3 mm t2 - 3 mm	Geometrie spoje 	Postup svařování 
------------------------------------	---	---

Poznámka:  
Alternativa použití sv.drátu S Al 5183

## Detaily pro svařování

	Vrstva svaru	Proces	Ø přídavného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/cm]
A)	Nová vrstva	141	2,4	Základ Impuls	170 A 150 A	14,5 ~		25	3,34

## Přídavný materiál / svařovací prášek

## Zvláštní předpisy pro sušení

	Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]
A)	S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	Union AlMg4,5MnZr	Böhler		

## Ochranný plyn

	Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]
A)	Svařování: I3 - ArHe-30	VARIGON He30	Linde Gas	13-15	1	3

## Další informace

	Parametry / hodnota
A)	Typ wolframové elektrody: WC 20 Ø wolframové elektrody: 2,4 mm

Rozkry:  
Teplota předehřátí [°C]:  
Mezivrstevná teplota [°C]:

Přímochařá housenka

## Poznámka:

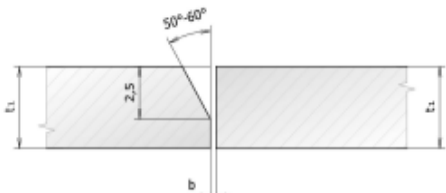
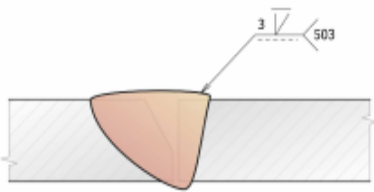
Hodnoty svařování upravovat ruční pulzací na hořáku. Překročení hranice základního proudu je nepřipustné.

Datum / vyhotovil: 25.3.2019 Jan Šplíchal	Datum / zkontroloval: 25.3.2019 Vratislav Chaloupka	Datum / schválil: 25.3.2019 Vratislav Chaloupka
Podpis	Podpis	Podpis



	<b>Pokyny pro svařování (WPS)</b>	Číslo WPS: 01-3HV-DPL
	3HV/141/AW6060/3	Rev. Strana 1 od 1

Místo:	IFE CR a.s.	Zkoušející nebo zkušebna:	Vratislav Chaloupka
Číslo WPQR:	200/03/2010; 08/2011/022	Způsob přípravy a čištění:	mechan. opracování
Kvalifikace svářeče:	EN ISO 9606-2	Opracování kofenové vrstvy:	žádný
Svařovací proces:	(WIG)	Specifikace základního materiálu:	Č. skupiny ISO TR 15608:
Druh svaru:	Tupý svar	1) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Zákazník:	IFE CR a.s.	2) [AW-6060 (3.3206)] AW-AlMgSi	23.1
Číslo zakázky:	141	Tloušťka materiálu:	3,0 mm
Číslo výkresu:		Vnější průměr:	
Číslo dílu:		Poloha svařování:	PA

<b>Rozměry:</b> b - 0-2 mm t1 - 3,0 mm Beta - 50-60°	<b>Geometrie spoje</b> 	<b>Postup svařování</b> 
---	---	---

Poznámka:  
Alternativní použití sv. drátu TR 5183Mg4,5Mn

## Detaily pro svařování

	Vrstva svaru	Proces	Ø přídavného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/cm]
A)	Nová vrstva	141	2,4	Základ Impuls	180 A 160 A	14,5 ~		20	4,44

## Přídavný materiál / svařovací prášek

Výběr materiálu a výroby prvků			Zvláštní předpisy pro sušení	
Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]
A) S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	Union AlMg4,5MnZr	Böhler		

## Ochranný plyn

	Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]
A)	Svařování: I3 - ArHe-30	VARIGON He30	Linde Gas	13-15	1	3

## Další informace

Parametry / hodnota	Rozkry:	Přímočará housenka
A) Typ wolframové elektrody: WC 20	Teplota předehřátí [°C]:	
Ø wolframové elektrody: 2,4 mm	Mezivrstevná teplota [°C]:	

## Poznámka:

Hodnoty svařování upravovat ruční pulzací na hořáku. Překročení hranice základního proudu je nepřípustné.

Datum / vyhotovil: 25.3.2019 Jan Šplíchal	Datum / zkontroloval: 25.3.2019 Vratislav Chaloupka	Datum / schválil: 25.3.2019 Vratislav Chaloupka
Podpis	Podpis	Podpis

## Příloha 15 Technické parametry svařovacího zdroje EWM Tetrix 300 [109] 1 / 2

### Tetrix 300 AC/DC Comfort 2.0 puls 5P TM

090-000235-00502



WE ARE WELDING



- Modulární inverterový svařovací přístroj WIG AC/DC, chlazení plynem nebo vodou
- Řízení Comfort 2.0, jednoduché ovládání prostřednictvím ClickWheel
- **Svařování WIG**
- Bez příplatku vybavené charakteristikami pro EWM activArc a EWM spotArc
- Svařování WIG s reprodukovatelným, elektronickým HF zapálením
- Svařování WIG-Liftarc bez VF
- Speciální metoda svařování AC k jednoduchému spojování různých silných hliníkových plechů, např. k navaření plechu 1 mm na plech 10 mm
- Nastavitelný tvar proudu AC, sinusový, lichoběžníkový, obdélníkový proud
- Nastavitelná frekvence střídavého proudu 30 Hz až 300 Hz
- Nastavitelné vyvážení AC, vyvážení pulsování
- Frekvenční automatika AC
- WIG pulsování průměrné hodnoty, zadaný svařovací proud je vždy zachován, proto se zejména hodí pro svařování podle postupů ke svařování
- Pulsní automatika WIG s automatickým zadáním potřebných parametrů impulsů
- Pulsování WIG v rozsahu Hz a kHz až 15 kHz
- 8 programovaných JOB (svařovacích úkolů):
- 2taktní/4taktní režim
- Snížený sekundární proud vyvolatelný přes tlačítko hořáku
- Funkce bodového svařování/stehování (spotArc/Spotmatic)
- Spotmatic a spotArc v přímém přístupu
- Nastavitelný náběh/doběh proudu
- Spotmatic – úspora 50 % času při stehování
- Nastavitelné předfuk plynu/dofuk plynu
- **Ruční svařování obalenou elektrodou**
- Automatické pulsování ručního svařování elektrodou s automaticky předvolenými potřebnými parametry impulsů
- Svařování elektrodami AC
- Ideální pro svařování kořene
- 8 programovaných JOB (svařovacích úkolů)
- Bezpečné svary ve svislé poloze shora dolů a zdola nahoru
- Nastavitelný proud a doba horkého startu
- Nastavitelné Arcforce
- Funkce Antistick
- **Hlavní fakta**
- Bezpečné zapalování i u dlouhých svazků hadic
- Chlazené plynem nebo volitelně vodní chlazení s chladicím modulem cool41 U31
- Velmi dobré chlazení hořáku, a tím úspora nákladů u opotřebitelných dílů hořáku díky výkonnému rotačnímu čerpadlu a vodní nádrži 4 litry (chladicí modul cool41 U31)
- Šetří proud díky vysokému stupni účinnosti a funkci standby
- Vysoké tolerance síťového napětí, a tím neomezeně schopné pro generátorový provoz
- Možnost připojení dálkového ovladače a funkčního hořáku
- Možnost dodání pojízdného vozíku Trolley 35.2-2
- Lze volitelně propojit s LAN nebo WiFi, připraveno pro Xnet
- Rozhraní PC pro software PC300.Net
- **Rozsah dodávky obsahuje pouze svařovací přístroj, další komponenty jako pojízdný vozík a chladicí modul si vyberte v příslušenství!**

	WIG	Ruční svařování elektrodou
Rozsah nastavení svařovacího proudu		5 A - 300 A



WE ARE WELDING

Doba zapnutí za okolní teploty	40 °C	
30 %	—	300 A
35 %	300 A	—
60 %	260 A	
100 %	210 A	
Napětí naprázdno	63 V	
Síťová frekvence	50 Hz / 60 Hz	
Síťová pojistka (pomalá)	3 x 16 A	
Síťové napětí (tolerance)	3 x 400 V (-25 % - +20 %)	
Max. přípojovací výkon	11.7 kVA	—
Doporučený výkon generátoru	15.8 kVA	—
cos φ	0.99	
Stupeň účinnosti	84 %	
Rozměry přístroje D x Š x V v mm	539 x 210 x 415	
Hmotnost přístroje	22 kg	
Připojka svařovacího hořáku	Decentralizované	